

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**FARINHA DO MESOCARPO DO PEQUI (*Caryocar  
brasiliense* Cambess): CINÉTICA DA SECAGEM,  
PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, FUNCIONAIS E  
ENRIQUECIMENTO DE IOGURTES**

Autora: Jéssica Leal Freitas e Souza  
Orientador: Dr. Marco Antônio Pereira da Silva  
Coorientadora: Dra. Geovana Rocha Plácido

Rio Verde – GO  
novembro – 2015

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**FARINHA DO MESOCARPO DO PEQUI (*Caryocar  
brasiliense* Cambess): CINÉTICA DA SECAGEM,  
PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, FUNCIONAIS E  
ENRIQUECIMENTO DE IOGURTES**

Autora: Jéssica Leal Freitas e Souza

Orientador: Dr. Marco Antônio Pereira da Silva

Coorientadora: Dra. Geovana Rocha Plácido

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde – Área de concentração Produção Animal.

Rio Verde – GO  
novembro – 2015

Souza, Jéssica Leal Freitas e

S719f Farinha do mesocarpo do pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) : cinética da secagem, propriedades nutricionais, funcionais e enriquecimento de iogurtes / Jéssica Leal Freitas e Souza. Rio Verde.– 2015.  
106 f. : 39il.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, 2015.

Orientador: Dr. Marco Antônio Pereira da Silva

Bibliografia

1. Modelagem matemática da secagem. 2. Farinha funcional. 3. Atividade antioxidante. 4. Iogurte pré-biótico. I. Título. II. Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde.

CDD:581.981

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**FARINHA DO MESOCARPO DO PEQUI (*Caryocar  
brasiliense* Cambess): CINÉTICA DA SECAGEM,  
PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, FUNCIONAIS E  
ENRIQUECIMENTO DE IOGURTES**

Autora: Jéssica Leal Freitas e Souza  
Orientador: Dr. Marco Antônio Pereira da Silva  
Coorientadora: Dra. Geovana Rocha Plácido

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia – Área de concentração Zootecnia -  
Zootecnia e Recursos Pesqueiros.

APROVADA em 06 de novembro de 2015.

Dr. Edmar Soares Nicolau  
UFG – Goiânia - GO  
(Membro Externo)

Dr. Osvaldo Resende  
IF Goiano - Câmpus Rio Verde  
(Membro Interno)

Dra. Geovana Rocha Plácido  
IF Goiano – Câmpus Rio Verde  
(Membro Interno)

Dr. Marco Antônio Pereira da Silva  
IF Goiano – Câmpus Rio Verde  
(Orientador)

*A Deus Pai, Filho e Espírito Santo.  
A Davi Noah, razão do meu riso e pranto.  
A Wilma e Guaracy, mulheres de fibra e encanto.*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a toda minha família, meus pais, avós, Matheus Henrique, tio Wilson e Rafael, pelo incentivo incansável, pelos ouvidos receptivos e conselhos equilibrados. A Luiz Carlos, Adir, Luiz e Luana, pela compreensão e por serem presentes durante minhas horas de ausência, pelo acolhimento e tratamento que me permitiram prosseguir na caminhada de forma segura.

Ao Instituto Federal Goiano - Câmpus Rio Verde, minha casa na esfera de formação profissional desde a graduação e agora na pós-graduação, na figura dos professores e coordenador do mestrado em Zootecnia, Francisco Araújo.

Aos dirigentes Alan Costa, Osvaldo Resende e Fabiano Guimarães, pela administração eficiente e resolução de questões burocráticas quando necessário. Às secretárias do PPGZ, Viviane, e PPGAq, Pâmela, pelo trabalho sincronizado eficiente.

Ao meu orientador Marco Antônio Pereira da Silva, por atender prontamente meu interesse em ingressar neste programa, pelas lições, pelo exemplo pessoal de comprometimento, dedicação e eficiência. Em extensão, a toda a comunidade do Laboratório de Produtos de Origem Animal (LPOA), minha segunda casa neste período, com o esforço do trabalho amenizado na companhia dos colegas mestres Bruno, Juliana, Kênia, Aline, Rodolfo, mestrandos Núbia, Lígia, Diene, Laís, Verônica e ICs Rânio, Ana Rízia, Marília, Thiago, Gustavo, Ruthele...

À minha coorientadora Geovana Plácido, a quem estimo desde a graduação, pelos ensinamentos de apoio à pesquisa, paciência e esforço. A todo o pessoal do Laboratório de Frutas e Hortaliças, às meninas Caroline, Maísa, Bheatriz, Jessyca e também ao Daniel e principalmente à saudosa Maria Siqueira, por sempre ajudarem no momento oportuno e pela presença agradável.

Agradeço aqui ao Osvaldo Resende professor, a quem tenho grande admiração pela postura de trabalho e por ser o responsável por minha iniciação no universo científico. Sempre as portas do Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais estiveram abertas à pesquisa, e lá me deparei com colegas dispostos a ensinar, como o Daniel Oliveira, Renan, Jaqueline, Kelly, Lilian, Gabrielly.

Certamente agradeço à professora Karen Leão, com quem estive presente em vários momentos e tenho como imagem uma profissional exemplo. Também pelo uso do laboratório e apoio na realização das análises necessárias à pesquisa.

À professora Mariana Buranelo, pela disposição em auxiliar na concretização de análises e paciência durante meu chamado constante, e à professora Maíra, pela oportunidade de usufruir do Laboratório de Tecnologia de Cereais e Panificação para uso de equipamento.

À professora Kátia Pinho, que permitiu a execução de análises no laboratório, extensivo a seus orientados Eduardo, Valdivino e Wender, sempre auxiliando.

Deste mesmo modo, tantos outros professores da instituição disponibilizaram o espaço físico para uso dos equipamentos, como Eduardo Severiano, do Laboratório de Física do Solo; Carlos, do Laboratório de Solos; professor José Milton, do Laboratório de Solos; Kátia Cyrene e Fabiana, da Nutrição Animal; Carlos Frederico do Quimera e Juliana, do Laboratório de Sementes; Priscila, da Análise Sensorial e Mariana Mello, da Microbiologia.

Em especial, ao professor Paulo Sérgio, sempre auxiliando nos inúmeros ciclos de liofilização e disposto a sanar dúvidas teóricas e práticas. Também pela disponibilização do Binate e às pessoas do laboratório, como a Ana Cláudia, e da Química Analítica, agradeço o apoio do Flávio.

Pelo espaço do laboratório Cultura de Tecidos, agradeço o acolhimento por todos os ocupantes em nome da Paula, Luciana, Juliana, Rejaine, Mariluz, Elisvane, Anielle, Daniele e, em especial, aos professores responsáveis, Fabiano Guimarães, Aurélio Neto e João das Graças.

Ao IFGoiano - Câmpus Iporá, à UFG - LABMIC e LQL e à empresa Solo Forte, em nome da responsável técnica, Marussa Boldrin.

Às instituições de fomento CAPES, CNPq, FAPEG e FINEP, cada qual em determinado momento provedora de recursos imprescindíveis para a execução das pesquisas.

A todos os citados e com o perdão alguns não lembrados, meus sinceros agradecimentos.



## **BIOGRAFIA DA AUTORA**

Jéssica Leal Freitas e Souza é natural de Rio Verde, Goiás, Brasil, nascida aos vinte e oito dias do mês de abril do ano de mil novecentos e noventa. Filiação de José Carlos Souza e Wilma Leal de Freitas, avós maternos Guaracy Leal de Freitas e José Delair de Freitas e avós paternos Prudenciana Rosa de Lima e João Fagundes de Souza.

Iniciou os estudos na cidade de Rio Verde, onde se graduou em Engenharia de Alimentos pelo Instituto Federal Goiano - Câmpus Rio Verde (2007-2011).

Atuou como monitora da Garantia da Qualidade em 2012 em Marfrig Group, Mineiros, Goiás, e em 2014, como professora substituta do Instituto Federal Goiano - Câmpus Rio Verde.

Em 2014, ingressou no mestrado acadêmico em Zootecnia do mesmo instituto, área de concentração Ciência Animal. Atuou com pesquisa na área de tecnologia de fermentados lácteos, qualidade e *shelf life* de queijos, aproveitamento de resíduos de frutos do cerrado, caracterização de compostos bioativos, textura e microestrutura.

## ÍNDICE

	Página
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	4
OBJETIVO GERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
<b>CAPÍTULO I: REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	6
1.1 Taxonomia, Distribuição Geográfica e Composição Nutricional do Pequi.....	6
1.2 Importância Econômica do Pequi.....	8
1.3 Panorama Tecnológico do Pequi.....	9
1.4 Aproveitamento de Resíduos Alimentícios.....	11
1.5 Fatores Antinutricionais, Compostos Bioativos e Funcionais.....	13
1.6 Leites Fermentados Probióticos e Prebióticos.....	17
1.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
<b>CAPÍTULO II: CINÉTICA DA SECAGEM E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DO MESOCARPO EXTERNO DO PEQUI (<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess)</b> .....	27
2.1 INTRODUÇÃO.....	28
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.2.1 Obtenção do Mesocarpo Externo do Pequi.....	29
2.2.2 Secagem do Mesocarpo Externo do Pequi.....	29
2.2.3 Modelagem Matemática da Secagem.....	30
2.2.4 Coeficiente de Difusão Efetivo e Energia de Ativação.....	32
2.2.5 Propriedades Termodinâmicas da Secagem.....	33
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
2.3.1 Cinética da Secagem.....	34
2.3.2 Coeficiente de Difusão Efetivo e Energia de Ativação.....	37
2.3.3 Propriedades Termodinâmicas da Secagem.....	38
2.4 CONCLUSÃO.....	40
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
<b>CAPÍTULO III: PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, FUNCIONAIS E FÍSICAS DA FARINHA DO MESOCARPO DO PEQUI (<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess)</b> .....	43
3.1 INTRODUÇÃO.....	44

3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3.2.1 Obtenção do Mesocarpo do Pequi.....	46
3.2.2 Obtenção da Farinha do Mesocarpo do Pequi.....	46
3.2.3 Composição Centesimal.....	47
3.2.4 Análises Físico-Químicas.....	48
3.2.5 Propriedades de Hidratação.....	49
3.2.6 Atividade Antioxidante Total e Fenólicos Totais.....	50
3.2.7 Coordenadas Colorimétricas.....	50
3.2.8 Microscopia Eletrônica de Varredura.....	51
3.2.9 Espectroscopia no Infravermelho Próximo.....	51
3.2.10 Análises Estatísticas.....	52
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
3.3.1 Composição Centesimal.....	52
3.3.2 Valor Energético, Fibras e Perfil Mineral.....	55
3.3.3 Acidez titulável, pH e Sólidos Solúveis.....	60
3.3.4 Distribuição Granulométrica.....	62
3.3.5 Massa Específica Aparente e Propriedades de Hidratação.....	64
3.3.6 Atividade Antioxidante Total e Fenólicos Totais.....	67
3.3.7 Coordenadas Colorimétricas.....	71
3.3.8 Microscopia Eletrônica de Varredura.....	73
3.3.9 Espectroscopia de Infravermelho Próximo.....	76
3.4 CONCLUSÃO.....	78
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
<b>CAPÍTULO IV: IOGURTE NATURAL ENRIQUECIDO COM FARINHA DO MESOCARPO DO PEQUI (<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess).....</b>	<b>88</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	89
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	90
4.2.1 Obtenção do Iogurte.....	90
4.2.2 Obtenção da Farinha do Mesocarpo do Pequi.....	90
4.2.3 Enriquecimento do Iogurte Natural.....	91
4.2.4 Análises Físico-Químicas.....	91
4.2.5 Análises Colorimétricas Instrumentais.....	91
4.2.6 Análises Microbiológicas.....	92
4.2.7 Análises Sensoriais.....	92
4.2.7.1 Análise sensorial do iogurte enriquecido com FMP.....	93
4.2.7.2 Análise sensorial da farinha do mesocarpo do pequi liofilizada....	93
4.2.8 Análises Estatísticas.....	94
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	94
4.3.1 Análises Físico-Químicas.....	94
4.3.2 Análises Colorimétricas Instrumentais.....	95
4.3.3 Análises Microbiológicas.....	97
4.3.4 Análises Sensoriais.....	99
4.4 CONCLUSÃO.....	101
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
<b>CAPÍTULO I: REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	6
<b>TABELA 1.1.</b> Composição centesimal do putâmen, amêndoa, casca e farinha da casca de pequi ( <i>Caryocar brasiliense</i> Camb.).....	8
<b>TABELA 1.2.</b> Concentração mínima de compostos permitidos na rotulagem de alimentos para alegação de propriedades funcionais.....	16
<b>TABELA 1.3.</b> Leites fermentados comerciais e micro-organismos relacionados à função probiótica.....	18
<b>CAPÍTULO II: CINÉTICA DA SECAGEM E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DO MESOCARPO EXTERNO DO PEQUI (<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess)</b> .....	27
<b>TABELA 2.1.</b> Modelos matemáticos utilizados para predição da secagem do mesocarpo de pequi.....	30
<b>TABELA 2.2.</b> Coeficiente de determinação, erro médio relativo ( $R^2$ , P, %) e erro médio estimado (SE, decimal) para a secagem do mesocarpo do pequi nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	34
<b>TABELA 2.3.</b> Coeficientes do modelo de Midilli ajustados para a secagem do mesocarpo do pequi nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	36
<b>TABELA 2.4.</b> Valores de entalpia ( $\Delta H$ ), entropia ( $\Delta S$ ) e energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) para a secagem do mesocarpo do pequi nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	39
<b>CAPÍTULO III: PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, FUNCIONAIS E FÍSICAS DA FARINHA DO MESOCARPO DO PEQUI (<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess)</b> .....	43
<b>TABELA 3.1.</b> Valores médios e desvio padrão do teor de água, matéria seca e cinzas, em base seca, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	53
<b>TABELA 3.2.</b> Valores médios e desvio padrão de proteína bruta, extrato etéreo e carboidratos totais, em base seca, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	54
<b>TABELA 3.3.</b> Valores médios e desvio padrão do valor energético total da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 °C.....	55
<b>TABELA 3.4.</b> Valores médios e desvio padrão de fibra alimentar solúvel (FAS), fibra alimentar insolúvel (FAI) e fibra alimentar total (FAT), em base	

seca, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	56
<b>TABELA 3.5.</b> Valores médios e desvio padrão da fração glicídica (FG), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), em base seca, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	57
<b>TABELA 3.6.</b> Valores médios e desvio padrão de macrominerais (mg/100g) da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	58
<b>TABELA 3.7.</b> Valores médios e desvio padrão de microminerais (mg/Kg) da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	59
<b>TABELA 3.8.</b> Valores médios e desvio padrão de pH, acidez e sólidos solúveis (SS) da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	60
<b>TABELA 3.9.</b> Valores médios e desvio padrão de massa específica aparente e volume de intumescimento, em base seca, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 °C.....	64
<b>TABELA 3.10.</b> Valores médios e desvio padrão dos índices de absorção em água (IAA), leite (IAL) e óleo (IAO), e índices de solubilidade em água (ISA) e leite (ISL), em base seca, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	65
<b>TABELA 3.11.</b> Equação da curva da concentração de DPPH remanescente, coeficiente de determinação, valores médios e desvio padrão da concentração inibitória (EC <sub>50</sub> ) e fenólicos totais da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	68
<b>TABELA 3.12.</b> Valores médios e desvio padrão da atividade antioxidante em diferentes concentrações do extrato da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	69
<b>TABELA 3.13.</b> Valores médios e desvio padrão das coordenadas L*, a* e b* da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	71
<b>TABELA 3.14.</b> Valores médios e desvio padrão das coordenadas C* (chroma), °h (hue) e ΔE (diferença total de cor) da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas 40, 50, 60 e 70 °C...	72
<b>CAPÍTULO IV: IOGURTE NATURAL ENRIQUECIDO COM FARINHA DO MESOCARPO DO PEQUI (<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess)</b> .....	88
<b>TABELA 4.1.</b> Composição centesimal do iogurte natural comercial.....	90
<b>TABELA 4.2.</b> Composição centesimal da farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.....	90
<b>TABELA 4.3.</b> Valores médios e desvio padrão da acidez titulável, pH, sinérese e capacidade de retenção de água (CRA) de iogurte natural enriquecido com farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.....	94
<b>TABELA 4.4.</b> Valores médios e desvio padrão das coordenadas colorimétricas de iogurte natural enriquecido com farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.....	95

<b>TABELA 4.5.</b> Análise microbiológica de iogurte natural enriquecido com farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.....	98
<b>TABELA 4.6.</b> Valores médios e desvio padrão da análise sensorial quanto aos parâmetros cor, aroma, sabor, textura e aparência de iogurte natural enriquecido com farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.....	99
<b>TABELA 4.7.</b> Valores médios e desvio padrão dos testes de intenção de compra e de diferença do controle de iogurte natural enriquecido com farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>CAPÍTULO I: REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	6
<b>FIGURA 1.1.</b> (A) Pequi de 5 metros. Foto: Paulo Sergio Nascimento Lopes. (B) Pequi anão frutificado. Foto: Nilton Tadeu Vilela Junqueira. Fonte: Lopes et al. (2006).....	7
<b>FIGURA 1.2.</b> Corte equatorial do pequi: epicarpo coriáceo (EC) e mesocarpo externo (ME). Corte transversal do putâmen, ou caroço (CA): mesocarpo interno (MI), endocarpo espinhoso ou lenhoso (EE) e amêndoa ou sementes (A). Fonte: Rodrigues (2005).....	7
<b>CAPÍTULO II: CINÉTICA DA SECAGEM E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DO MESOCARPO EXTERNO DO PEQUI (<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess)</b> .....	27
<b>FIGURA 2.1.</b> Cinética de secagem do mesocarpo do pequi, com valores experimentais e estimados pelo modelo de Midilli, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	35
<b>FIGURA 2.2.</b> Valores médios do coeficiente de difusão efetivo ( $m^2 \cdot s^{-1}$ ) para a secagem do mesocarpo do pequi nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	37
<b>FIGURA 2.3.</b> Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão em função da temperatura do ar de secagem do mesocarpo do pequi.....	38
<b>CAPÍTULO III: PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, FUNCIONAIS E FÍSICAS DA FARINHA DO MESOCARPO DO PEQUI (<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess)</b> .....	43
<b>FIGURA 3.1.</b> Curvas da frequência retida da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	62
<b>FIGURA 3.2.</b> Frequência acumulada da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	62
<b>FIGURA 3.3.</b> Histograma da frequência retida da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.	63
<b>FIGURA 3.4.</b> Curvas da concentração de DPPH remanescente dos extratos de farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	67

<b>FIGURA 3.5.</b> Eletromicrografias de varredura, em aproximações de 500x e 1.000x, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	73
<b>FIGURA 3.6.</b> Eletromicrografias de varredura em aproximação de 2.000x, da farinha do mesocarpo de pequi submetida à secagem na temperatura de 40, 50, 60 e 70 °C.....	76
<b>FIGURA 3.7.</b> Espectros na região próxima de infravermelho da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.....	77
<b>CAPÍTULO IV: IOGURTE NATURAL ENRIQUECIDO COM FARINHA DO MESOCARPO DO PEQUI (<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess).</b>	88
<b>FIGURA 4.1.</b> Espectros na região próxima de infravermelho de iogurte natural enriquecido com farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.....	97



## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

<b>Símbolo</b>	<b>Sigla</b>
%	Por cento
$\Delta G$	Energia livre de Gibbs ( $J.mol^{-1}$ )
$\Delta H$	Entalpia ( $J.mol^{-1}$ )
$\Delta S$	Entropia ( $J.mol^{-1}$ )
A	Comprimento (m)
$\Sigma$	Somatória
a*	Cromaticidade do verde (-80) a vermelho (+100);
a, b, c, n	Coefficientes dos modelos de secagem
AAT	Atividade antioxidante total (%)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abs <sub>amostra</sub>	Absorbância da amostra (515 nm)
Abs <sub>controle</sub>	Absorbância do controle (515 nm)
Anvisa	Agência nacional de vigilância sanitária
B	Largura (m)
B	Boro ( $mg.Kg^{-1}$ )
b*	Cromaticidade do azul (-50) ao amarelo (+70)
b.s.	Base seca
BDA	Ágar batata dextrose
C	Espessura (m)
C*	Chroma, saturação da cor
CA	Caroço ou putâmen
Ca	Cálcio ( $mg.100g^{-1}$ )
cal	Caloria (4,1868 J)
CE	Ceará
CIE	<i>Comission Internationale de l'Eclairage</i> (Comissão internacional de iluminação)
cm	Centímetro ( $10^{-2}$ m)
CMN	Conselho monetário nacional
COOPERJAP	Cooperativa de Produtores Rurais e Catadores de Pequi de Japonvar
CRA	Capacidade de retenção de água
Cu	Cobre ( $mg.Kg^{-1}$ )
CV	Coefficiente de variação

D	Coeficiente de difusão efetivo ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )
$D_0$	Fator pré-exponencial ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )
D65	Iluminante luz do dia (temperatura correlatada de cor de 6.500 K)
DL50	Dose letal mediana (concentração fatal a 50% da população teste)
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
$E_a$	Energia de ativação ( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )
EC	Epicarpo coriáceo
$EC_{50}$	Concentração inibitória (concentração eficiente ou equivalente controle)
EDS	Detector da espectroscopia por dispersão de energia
EE	Endocarpo espinhoso ou lenhoso
FAI	Fibra alimentar insolúvel ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )
FAS	Fibra alimentar solúvel ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )
FAT	Fibra alimentar total ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )
FCP	Farinha da casca do pequi
FDA	Fibra em detergente ácido ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )
FDN	Fibra em detergente neutro ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )
Fe	Fero ( $\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ )
FG	Fração glicídica ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )
FMP	Farinha do mesocarpo externo do pequi
FOS	Frutoligossacarídeo
G	Gramma
H	Hue, tonalidade ou matiz cromática ( $^\circ$ )
H	Hora
$h_p$	Constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ )
HSB	Sistema de cor <i>hue, saturation, brightness</i> (tonalidade, saturação e brilho)
IAA	Índice de absorção em água ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )
IAL	Índice de absorção em leite ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )
IAO	Índice de absorção em óleo ( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ )
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IFGoiano	Instituto Federal Goiano
ISA	Índice de solubilidade em água ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )
ISL	Índice de solubilidade em leite ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )
J	Joule ( $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ )
K	Kelvin
K	Potássio ( $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ )
$k, k_0, k_1$	Constantes de secagem ( $\text{h}^{-1}$ )
$k_B$	Constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ )
Kcal	Quilocaloria ( $10^3 \text{ cal}$ )
Kg	Quilograma ( $10^3 \text{ g}$ )
KJ	Quilojoule ( $10^3 \text{ J}$ )
$L^*$	Luminosidade do preto (0) ao branco (+100)
LDL	<i>Low density lipoprotein</i> (lipoproteína de baixa densidade)
LST	Caldo lauril triptose

M	Metro
ME	Mesocarpo externo
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MG	Minas Gerais
mg	Miligrama ( $10^{-3}$ g)
Mg	Magnésio ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ )
MI	Mesocarpo interno
mL	Mililitro ( $10^{-3}$ L)
Mn	Manganês ( $\text{mg}\cdot \text{Kg}^{-1}$ )
mol	Mol ( $6,022 \times 10^{23}$ unidades)
nm	Nanômetro ( $10^{-9}$ m)
MRS	Ágar DeMan, Rogosa e Sharpe
N	Número de observações experimentais
NIDA	Nitrogênio insolúvel em detergente ácido
NIRS	<i>Near infrared spectroscopy</i> (Espectroscopia de infravermelho próximo)
Nm	Nanômetro
NMP	Número mais provável
$n_t$	Número de termos
P	Erro médio relativo (%)
P	Fósforo ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ )
P.A.	<i>Pro analyse</i> (para análise)
PGPAF	Programa de garantia de preços para agricultura familiar
pH	Potencial hidrogeniônico
Ppm	Parte por milhão
R	Raio equivalente (m)
R	Constante universal dos gases ( $8,134 \text{ kJ}\cdot \text{kmol}^{-1}\cdot \text{K}^{-1}$ )
$R^2$	Coefficiente de determinação (%)
RX	Razão de teor de água (adimensional)
S	Enxofre ( $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ )
S	Segundo
SE	Erro médio estimado (%)
SS	Sólidos solúveis (°Brix)
T	Tempo de secagem (s, h)
$T_{ab}$	Temperatura absoluta (K)
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido
UFC	Unidades formadoras de colônia
UV	Ultra-violeta
V	Volume ( $\text{m}^3$ )
VDR	Valor diário de referência de nutrientes
VET	Valor energético total ( $\text{Kcal}\cdot 100\text{g}^{-1}$ e $\text{KJ}\cdot 100\text{g}^{-1}$ )
VI	Volume de intumescimento ( $\text{mL}\cdot \text{g}^{-1}$ )
X	Teor de água (decimal, b.s.)
$X_e$	Teor de água de equilíbrio (decimal, b.s.)
$X_i$	Teor de água inicial (decimal, b.s.)

Y	Valor observado experimentalmente
$\hat{Y}$	Valor estimado pelo modelo
Zn	Zinco ( $\text{mg.Kg}^{-1}$ )
$\Delta E$	Varição total da cor
$\lambda_n$	Raízes da equação de Bessel de ordem zero

## RESUMO

SOUZA, Jéssica Leal Freitas e. Farinha do mesocarpo do pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess): Cinética da secagem, propriedades nutricionais, funcionais e enriquecimento de iogurtes. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2015. 106f.

O mercado de alimentos funcionais tem demanda crescente por novos produtos, entre eles, iogurtes prebióticos. Os resíduos agroindustriais são ingredientes potenciais ainda pouco explorados neste mercado, com destaque para o mesocarpo de pequi, com elevado teor de fibra alimentar e atividade antioxidante. Deste modo, objetivou-se estudar a cinética de secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C do mesocarpo do pequi para obtenção de produto farináceo, caracterizá-lo e analisar as propriedades físico-químicas e a aceitação sensorial de iogurte funcional enriquecido. O melhor modelo que se ajusta às curvas de secagem é Midilli. O coeficiente de difusão efetivo, a entropia e a energia livre de Gibbs aumentam com a elevação da temperatura, enquanto a entalpia decresce. A energia de ativação para a difusão líquida é de 11,387 kJ.mol<sup>-1</sup>. As farinhas do mesocarpo de pequi (FMP) obtidas por secagem e liofilização destacam-se quanto aos teores de potássio, cobre, manganês e boro. A FMP liofilizada preserva melhor a composição centesimal e as propriedades funcionais. Este processamento resulta em maior porosidade, estrutura amorfa, maior volume de intumescimento, menor massa específica aparente e maiores índices de absorção, devido à integridade dos grânulos de amido. O tempo de secagem influencia no escurecimento não enzimático pela maior exposição ao oxigênio. A temperatura de secagem, além do escurecimento, afeta os compostos antioxidantes (embora a atividade ainda seja elevada) e propicia a desnaturação proteica e gelatinização do amido, relacionada aos altos índices de solubilidade. Os iogurtes enriquecidos com 0,5%, 1% e 1,5% de FMP liofilizada evidenciam que o alto poder de absorção da farinha favorece menor sinérese e maior capacidade de retenção de água. O pH diminui com a adição da farinha, enquanto a cor escurece com tendência a tons compostos por amarelo e vermelho. O iogurte prebiótico formulado é adequado ao consumo, com bactérias lácticas viáveis em 10<sup>8</sup> UFC.mL<sup>-1</sup> e ausência de fungos, leveduras e coliformes. Na análise sensorial, a FMP liofilizada é bem aceita com notas entre 7 e 8, enquanto o iogurte enriquecido com FMP na concentração de 1,5% possui menor aprovação somente no parâmetro sabor, mas ainda com maior intenção de compra. Sendo assim, o enriquecimento de FMP em produtos como o iogurte natural é promissor no mercado de alimentos funcionais.

**Palavras-chave:** Modelagem matemática da secagem. Farinha funcional. Atividade antioxidante. Iogurte prebiótico.

## ABSTRACT

SOUZA, Jéssica Leal Freitas e. Mesocarp pequi flour (*Caryocar brasiliense* Cambess): Drying kinetics, nutritional, and functional properties and yogurt's enrichment. Dissertation (Master's degree in Animal Science), Instituto Federal Goiano (Goiano Federal Institute), Rio Verde City, Goiás State, Brazil. 2015. 106p.

The market for functional foods has increasing demand for new products, including prebiotic yogurts. The organic residues are potential ingredients that have not yet been totally explored in this market; among them, there is the mesocarp pequi, with high content of dietary fiber and antioxidant activity. Thus, this paper aimed to study the drying kinetics at temperatures of 40, 50, 60 and 70 °C of the mesocarp pequi to obtain a flour product, characterize it, and analyse the physicochemical properties and sensory acceptance of enriched functional yogurt. The best model to fit to the drying curves is Midilli's. The effective diffusion coefficient, the entropy, and the Gibbs' free energy increase with increasing temperature, while the enthalpy decreases. The activation energy for liquid diffusion is 11.387 kJ.mol<sup>-1</sup>. Mesocarp pequi flour (MPF) obtained by drying and freeze-drying are highlighted concerning to the levels of potassium, copper, manganese, and boron. The freeze-drying MPF best preserves the centesimal composition and functional properties. This processing results in a higher porosity, amorphous structure, larger swelling volume, lower bulk density, and higher absorption rates, due to the integrity of the starch granules. The drying time affects the non-enzymatic darkening due to greater exposure to oxygen. The drying temperature, in addition to the darkening, affects the antioxidant compounds (although the activity is still high) and favors to protein denaturation and starch gelatinization related to high solubility levels. Yogurt enriched with 0.5%, 1%, and 1.5% of freeze-drying MPF show that the high absorption rate of the flour favors less syneresis and increases water holding capacity. The pH decreases with the flour addition, while the color darkens, tending to yellow and red tones. The formulated prebiotic yogurt is suitable for consumption with viable lactic acid bacteria at 10<sup>8</sup> colony forming unit (CFU).mL<sup>-1</sup> and absence of fungi, yeasts, and coliforms. In the sensory analysis, the freeze-drying MPF is well accepted with notes between 7 and 8 in hedonic scale, while the enriched yogurt with MPF in 1.5% concentration has lower approval only in the flavor parameter, but with even greater intent to purchase. Thus, MPF enrichment in products, such as plain yogurt, is quite promising in the functional food market.

**Keywords:** Mathematical modeling of drying. Functional flour. Antioxidant activity. Prebiotic yogurt.

## INTRODUÇÃO GERAL

De grande importância internacional e nacional, o Cerrado constitui um dos *hotspot* mundiais de biodiversidade e também o segundo maior bioma brasileiro. A expansão da agricultura e o uso de tecnologias modernas no Cerrado geraram benefícios socioeconômicos inegáveis (MACHADO et al., 2004).

No entanto, é comum encontrar áreas no Cerrado que, como resultado de manejo do solo deficiente, têm alta erosão ou invasão por espécies exóticas. Estima-se que cerca de 55% da área original do cerrado já tenha sido desmatada ou transformada pela ação humana. Além disso, é constituído por uma grande biodiversidade com espécies da fauna e da flora brasileira ameaçadas de extinção (MYERS et al., 2000).

Para diminuir os efeitos causados pelo ser humano, é necessário aliar o desenvolvimento agrícola à exploração sustentável e, para isso, a identificação de espécies nativas que proporcionem novas fontes de ingredientes para a indústria de alimentos é uma alternativa apropriada.

Várias espécies vegetais do Cerrado se destacam por apresentar valor alimentício com elevado teor de vitaminas, antioxidantes, proteínas, carboidratos, fibras e minerais (ROESLER et al., 2007). Essas espécies são alvo de extrativismo pelas comunidades locais, sendo comercializadas para consumo *in natura* e beneficiadas artesanalmente.

O pequi é uma espécie nativa do cerrado brasileiro encontrada em diversas regiões, cujos frutos, explorados de forma extrativista, têm grande importância econômica (LUZ et al., 2011).

O pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) é consumido *in natura*, bem como em suco, sorvete, licor, geléia e pratos tradicionais da culinária regional (MACHADO et al., 2013).

Do fruto do pequi, consome-se principalmente a polpa interna, de cor amarela e sabor característico, descartando o mesocarpo, que pode ser transformado em farinha e utilizado no enriquecimento de outros produtos (SOARES JÚNIOR et al., 2010).

O aproveitamento dos subprodutos da agroindústria de alimentos diminui os custos da produção e reduz o impacto ambiental. A transformação destes subprodutos em farináceos está sendo aplicada em diversos alimentos, como, por exemplo, na substituição parcial da farinha de trigo por farinha de casca de batata para panificação (FERNANDES et al., 2008).

Outra aplicação para agregar valor ao subproduto que geralmente é descartado é a utilização como farinhas no enriquecimento de iogurtes (GONÇALVES et al., 2013).

Algumas pesquisas sobre o enriquecimento de iogurtes exploram o incremento de ingrediente com valor nutricional, como, por exemplo, a adição de alecrim (LEAL et al., 2013), extrato de erva mate (PRECI et al., 2011), mangostão (BRAGA et al., 2012) e farinha de gergelim (FINCO et al., 2011).

O iogurte é um produto lácteo consumido como parte da dieta humana há séculos, ainda quando os efeitos benéficos não eram elucidados cientificamente. Com o tempo, o iogurte tem sido continuamente modificado para se obter um produto com melhor apelo e efeito nutricional, inclusive por modificações dos componentes do sabor (ROUTRAY & MISHRA, 2011).

Neste âmbito, objetivou-se estudar a cinética e as propriedades termodinâmicas da secagem do mesocarpo de pequi para obtenção de farinha alimentícia, avaliar as propriedades nutricionais, funcionais e tecnológicas e a aplicação em iogurtes, para desenvolvimento de um novo produto prebiótico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA, A.C.C.; NETO, E.F.A.; VILHENA, M.J.V. elaboração e caracterização de iogurtes adicionados de polpa e de xarope de mangostão (*Garcinia mangostana* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.14, n.1, p.77-84, 2012.
- FERNANDES, A.F.; PEREIRA, J.; GERMANI, R.; OIANO-NETO, J. Effect of the partial replacement of wheat flour for potato skin flour (*Solanum Tuberosum* L.) **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28(Supl.), p.56-65, 2008.
- FINCO, A.M.O.; GARMUS, T.T.; BEZERRA, J.R.M.V.; CÓRDOVA, K.R.V. Elaboração de iogurte com adição de farinha de gergelim. **Ambiência**, v.7, n.2, p.217-227, 2011.



- GONÇALVES, C.R.; LEÃO, M.F. Produção de iogurte com adição das farinhas mistas a partir dos resíduos de maçã, maracujá e uva. **Centro Científico Conhecer**, v.9, n.17, p.3618-3631, 2013.
- LEAL, N.S.; ZAMBRANO, F.; SERAPHIM, L.C.; DIBBERN, L.S.; ALMEIDA, L.C.F.; FERNANDES, S. Aceitabilidade de iogurte de leite de ovelha com adição de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.). **Veterinária e Zootecnia**, v.20, n.1, p.131-139, 2013.
- LUZ, G.R.; RODRIGUES, P.M.S.; MENINO, G.C.O.; COUTINHO, E.S.; NUNES, Y.R.F. Caracterização física de frutos e putâmens e taxa de ataque por carmenta sp. a pequi ( *Caryocar brasiliense* Camb.) no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.3, p.746-756, 2011.
- MACHADO, M.T.C.; MELLO, B.C.B.S.; HUBINGER, M.D. Study of alcoholic and aqueous extraction of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) natural antioxidants and extracts concentration by nanofiltration. **Journal of Food Engineering**, v.117, n.4., p.450–457, 2013.
- MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.G.P.; CALDAS, E.F.; GONÇALVES, D.A.; SANTOS, N.S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Conservação International, Brasília, 2004.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KEN, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, n.24, p.853-858, 2000.
- PRECI, D.; CICHOSKI, A.J.; VALDUGA, A.T.; OLIVEIRA, D.; VALDUGA, E.; TREICHEL, H.; TONIAZZO, G.; CANSIAN, R.L. Desenvolvimento de iogurte light com extrato de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) e adição de probióticos. **Alimentos e Nutrição**, v.22, n.1, p.27-38, 2011.
- ROESLER, R.; MALTA, L.G.; CARRASCO, L.C.; HOLANDA, R.B.; SOUSA, C.A.S.; PASTORE, G.M. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.1, p.53-60, 2007.
- ROUTRAY, W; MISHRA, H.N. Scientific and technical aspects of yogurt aroma and taste: a Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.10, n.4, p.208-220, 2011.
- SOARES JÚNIOR, M.S.; BASSINELLO, P.Z.; CALIARI, M. Development and chemical characterization of flour obtained from the external mesocarp of “pequi” fruit. **Food Science and Technology**, v.30, n.4, p.949-954, 2010.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GERAL

Modelar a cinética de secagem do mesocarpo externo de pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess); caracterizar o farináceo obtido nutricional, funcional e tecnologicamente; e avaliar o comportamento físico-químico e a aceitação sensorial após o enriquecimento em iogurte natural.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Obter farinha do mesocarpo do pequi (FMP) por secagem e liofilização;
- ✓ Determinar a cinética de secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C;
- ✓ Calcular as propriedades termodinâmicas da FMP;
- ✓ Caracterizar a composição química quanto ao teor de água, cinzas, proteína, extrato etéreo, carboidratos totais, fração glicídica e sólidos solúveis;
- ✓ Calcular o valor energético total da FMP;
- ✓ Caracterizar o perfil mineral da FMP quanto aos teores de macro e microminerais;
- ✓ Determinar os teores de fibra alimentar total, fibra alimentar solúvel, fibra alimentar insolúvel, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido da FMP;
- ✓ Determinar os compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante da FMP;
- ✓ Calcular os índices de absorção em água, leite e óleo, os índices de solubilidade em água e leite e o volume de intumescimento da FMP;
- ✓ Verificar as características físico-químicas quanto à acidez e pH da FMP;
- ✓ Determinar a distribuição granulométrica da FMP e a massa específica aparente;

- ✓ Caracterizar as coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Chroma ( $C^*$ ), Hue ( $^{\circ}h$ ) e diferença total de cor ( $\Delta E$ ) da FMP;
- ✓ Analisar a FMP por espectroscopia de infravermelho próximo;
- ✓ Verificar a estrutura física da FMP por microscopia eletrônica de varredura;
- ✓ Enriquecer iogurte natural com diferentes níveis de FMP;
- ✓ Caracterizar o iogurte com FMP quanto à acidez, pH, sinérese e capacidade de retenção de água (CRA);
- ✓ Analisar instrumentalmente as coordenadas de cor dos iogurtes naturais enriquecidos com FMP;
- ✓ Comparar os diferentes iogurtes enriquecidos com FMP por espectroscopia de infravermelho próximo;
- ✓ Realizar as análises microbiológicas de bactérias lácticas viáveis, coliformes totais, fungos filamentosos e leveduras;
- ✓ Proceder a análise sensorial do novo produto desenvolvido, por meio do teste de aceitação e intenção de compra.

# CAPÍTULO I

## REVISÃO DA LITERATURA

### 1.1 Taxonomia, Distribuição Geográfica e Composição Nutricional do Pequi

O pequi também é conhecido por outros nomes comuns como piqui, piquiá, pequiá, grão-pequiá, piquiá-bravo, pequiá-verdadeiro, pequiá-vermelho, amêndoa-de-espinho, grão de cavalo, pequerim e suari (LORENZI, 2002).

A posição taxonômica do fruto obedece à hierarquia do reino Plantae, da divisão Magnoliophyta (Angiospermae), classe Magnoliopsida (Dicotiledonae), ordem Guttiferales, família Caryocaraceae, gênero *Caryocar* Linnaeus (APG, 2009). São aceitas atualmente doze espécies: *C. brasiliense* Cambess, *C. coriaceum* Wittm, *C. cuneatum* Wittm, *C. dentalum* Gleason, *C. edule* Casar, *C. glabrum* (Aubl.) Pers, *C. gracile* Wittm, *C. microcarpum* Ducke, *C. montanum* Prance, *C. nuciferum* L., *C. pallidum* A.C.Sm. e *C. villosum* (Aubl.) Pers (MEDEIROS & AMORIM, 2015). Em função de sua maior ocorrência, a primeira espécie é considerada a mais importante do ponto de vista socioeconômico (LOPES et al., 2006).

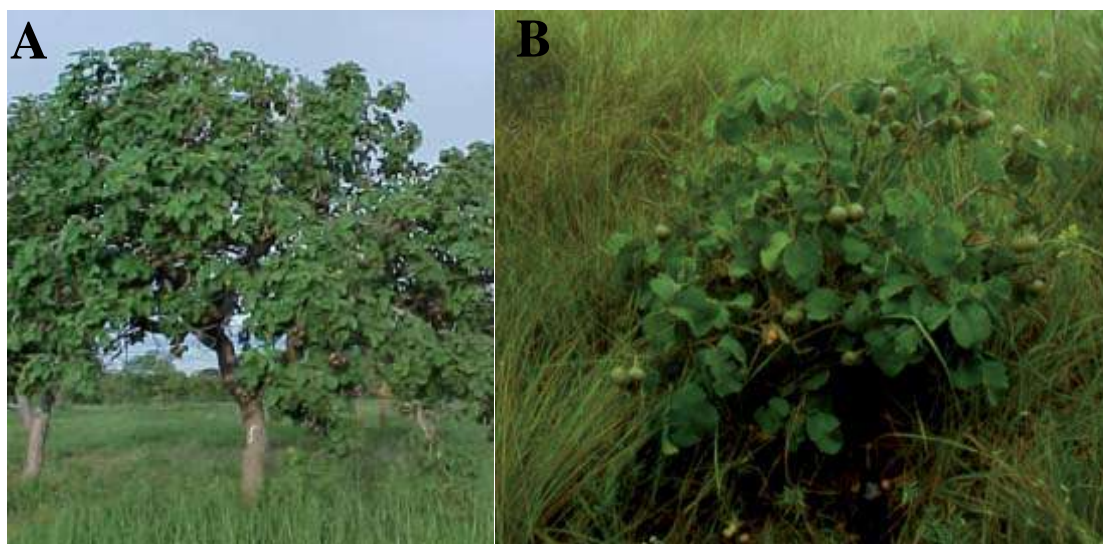
A etimologia do gênero *Caryocar* vem do grego *caryon* (núcleo ou noz) + *kara* (cabeça) em referência ao fruto globoso, e o epíteto específico *brasiliense* porque essa espécie é originária do Brasil; o nome vulgar pequi vem do tupi, em que *py* (pele) + *qui* (espinho) se refere aos espinhos do caroço (SILVA JÚNIOR et al., 2005).

A espécie *C. brasiliense* distribui-se geograficamente no cerradão distrófico e mesotrófico, cerrado denso, cerrado, cerrado ralo e mata seca, nos estados de Tocantins, Pará, Maranhão, Piauí, Ceará, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, no Distrito Federal e também no Paraguai (ALMEIDA et al., 1998).

O pequizeiro ocorre em regiões de boa luminosidade e baixa fertilidade natural do solo, clima subtropical ou tropical, com estação seca bem definida, em solo profundo, sílico-argiloso e bem drenado (ANDERSEN & ANDERSEN, 1988). A espécie é sazonal, com floração entre agosto e outubro e frutificação entre outubro e janeiro (FAGUNDES et al., 2007).

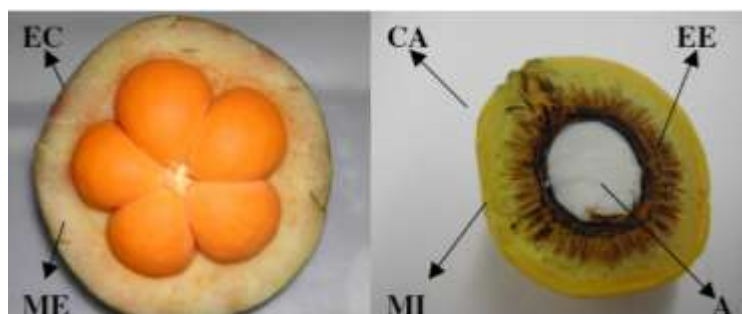
O pequizeiro pode ter porte pequeno ou ser árvore frondosa, com altura maior que dez metros, com caule de casca espessa, de coloração escura, ramos grossos e

angulosos (LOPES et al., 2006). A madeira é de coloração amarela ou pardo-amarelada, bastante pesada e resistente a agentes de deterioração (FERREIRA, 1980). A produção por safra pode se situar entre 500 a 2.000 frutos por árvore (SILVA et al., 2001) (FIGURA 1.1).



**FIGURA 1.1.** (A) Pequizeiro de 5 metros. Foto: Paulo Sergio Nascimento Lopes. (B) Pequizeiro anão frutificado. Foto: Nilton Tadeu Vilela Junqueira. Fonte: Lopes et al. (2006).

O fruto é do tipo drupa globular, aspecto lobulado, com epicarpo coriáceo fino, verde ou arroxeado, e contém geralmente de um a quatro putâmens (pirênio ou caroço), podendo atingir até seis (CORREA et al., 2008). O putâmen ou caroço é a unidade de dispersão, que se constitui da semente envolta por endocarpo rígido e espinhoso, e pelo mesocarpo interno, que recobre o endocarpo, constituindo a polpa comestível (ALMEIDA et al., 1998) (FIGURA 1.2).



**FIGURA 1.2.** Corte equatorial do pequi: epicarpo coriáceo (EC) e mesocarpo externo (ME). Corte transversal do caroço (CA): mesocarpo interno (MI), endocarpo espinhoso ou lenhoso (EE) e amêndoa ou sementes (A). Fonte: Rodrigues (2005).

A avaliação biométrica do pequi apresenta variações de 4,3 cm a 5,4 cm de comprimento, de 5,7 cm a 6,9 cm de largura e massa de 100 g a 300 g; já para o putâmen, médias de 3,03 cm de comprimento, 2,90 cm de largura e 21,79 g de massa (LUZ et al., 2011).

A biometria e a composição química dos frutos são bastante variáveis em função de diferenças fenotípicas determinadas pelas variações ambientais, dada a localidade geográfica de origem; assim sendo, indivíduos da mesma espécie de diferentes regiões, estão sujeitos a variações de temperatura, intensidade do fotoperíodo, índices de pluviosidade e composição do solo, que ressaltam aspectos da composição genética (BOTEZELLI et al., 2000). Dados coletados na literatura sobre a composição química do pequi estão apresentados abaixo (TABELA 1.1).

**TABELA 1.1.** Composição centesimal do putâmen, amêndoa, casca e farinha da casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.).

Autores	Teor de água	Cinzas	Proteína	Lipídios	Carboidratos	Fibra Bruta
Putâmen (g.100 g <sup>-1</sup> )						
Almeida et al. (1998)	---	---	2,64	20,00	19,60	13,00
Vera et al. (2005)	54,34	---	3,89	20,02	---	---
Pinedo et al. (2010)	56,80	2,23	3,10	21,7	16,17	---
Amêndoa (g.100 g <sup>-1</sup> )						
Damiani et al. (2013)	25,41	3,92	13,42	25,70	32,55	---
Silva et al. (2014)	6,58	4,62	27,76	34,88	26,17	---
Casca (g.100 g <sup>-1</sup> )						
Lima et al. (2012)	87,56	3,03	2,03	15,09	79,85	---
Monteiro et al. (2015)	85,79	0,36	0,59	0,15	---	6,52
Farinha da casca (g.100 g <sup>-1</sup> )						
Pessoa et al. (2013)	10,32	3,35	4,78	1,08	---	21,81
Barbosa & Amante (2002)	---	1,78	5,76	1,54	50,94	39,97
Soares Júnior et al. (2010)	3,08	2,86	5,59	0,85	49,59	38,02
Siqueira et al. (2013)	1,54	2,09	2,65	1,32	---	59,67

## 1.2 Importância Econômica do Pequi

O pequizeiro é árvore protegida por lei (Portaria n° 54 de 03/03/87– IBDF) que impede seu corte e comercialização da madeira em todo o território nacional. Em 2011, o Conselho Monetário Nacional (CMN) estabeleceu preços mínimos para dez produtos extrativistas, incluindo o pequi, amparado pelo Programa de Garantia de Preços para Agricultura Familiar - PGPAF (DUBOC et al., 2013).

Na Resolução nº 3.990 de 30/06/2011 do Banco Central do Brasil, foi fixado preço mínimo por quilo de fruto de pequi de R\$ 0,23 (regiões Norte e Nordeste) e de R\$ 0,37 (regiões Sudeste e Centro-Oeste); para 2015, os preços são, respectivamente, R\$ 0,43 e R\$ 0,51 (CONAB, 2015).

Na última safra de 2014/2015, o estado do Ceará manteve o valor de mercado do quilo do pequi acima do preço mínimo (R\$ 0,58 em janeiro, R\$ 0,85 em fevereiro, R\$ 1,00 de março até junho), seguido de Goiás (R\$ 0,50 janeiro e fevereiro, e R\$ 0,80 de março a abril); Minas Gerais apresentou o menor valor (R\$ 0,24 com oferta até março), seguido de Tocantins (R\$ 0,40 até maio) (CONAB, 2015).

A estimativa para a produção extrativista de pequi em 2010, com dados oficiais subestimados, foi de 5.786 toneladas, já a produção de amêndoa, no ano de 2013, foi de 1.544 toneladas, distribuídas entre Pará (471 toneladas), Ceará (440 toneladas), Bahia (261 toneladas), Mato Grosso (239 toneladas), Goiás (95 toneladas) e Pernambuco (38 toneladas). As microrregiões de maior destaque são Crato (CE) e Montes Claros (MG) (IBGE, 2015).

O extrativismo é representado principalmente por pequenos grupos e famílias de catadores, sendo, na maioria dos casos a principal fonte de renda, caso da Cooperativa de Produtores Rurais e Catadores de Pequi de Japonvar (COOPERJAP), localizada em Japonvar, norte de Minas Gerais (ÂNGELO & AFONSO, 2007).

Adicionalmente, o pequi é considerado alimento funcional, e informações mercadológicas apontam o mercado brasileiro de alimentos funcionais como o quinto maior em 2011, com um valor de vendas na marca de R\$ 27,9 bilhões (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2012). Conforme projeções do estudo para 2015, o Brasil será o terceiro maior mercado, com o valor de R\$ 55,7 bilhões e 7,07% de participação mundial, somente atrás da China (20,46%) e Estados Unidos (17,66%).

Deste modo, é de grande importância a preservação das espécies do cerrado por meio de recuperação de áreas degradadas, arborização de pastagens, sistemas agroflorestais com plantas nativas e plantas cultivadas (o monocultivo é susceptível a pragas), garantindo exploração sustentável para o pequi, considerado o "ouro do cerrado" (SILVA et al., 2001).

### **1.3 Panorama Tecnológico do Pequi**

A exploração de frutíferas nativas do Cerrado é uma atividade promissora, pois,

além do consumo *in natura*, os frutos, ricos em vitaminas, substâncias antioxidantes e óleos essenciais, podem ser usados como matéria-prima para a indústria farmacêutica e alimentícia (MARIN et al., 2004).

O uso mais difundido do pequi está no consumo do putâmen, de sabor forte e exótico, muito apreciado na culinária regional e sertaneja em pratos cozidos com arroz e frango (GRATÃO, 2014).

Podem ser obtidos da madeira do pequizeiro, resistente e de alto poder calorífico, esteios de curral, mourões e pilões (VALE et al., 2002), servindo para construção civil, fabricação de móveis (LORENZI, 2002) e produção de carvão para siderúrgicas (SILVA et al., 1994).

As folhas e cascas do pequizeiro, com elevado teor de taninos, são usadas na fabricação de corantes de cor amarela para tingimento de couro, lã e algodão (SILVA et al., 1994). Também têm função medicinal, com propriedades anticarcinogênicas e como estimulante da secreção da bÍlis e regulador do fluxo menstrual, devido à adstringência (BRANDÃO et al., 1992).

As folhas também apresentam ação moluscicida, com potencial erradicação da esquistossomose (BEZERRA et al., 2002) e atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* (AMARAL et al., 2014), *Enterococcus faecalis*, *Leishmania amazonensis* (PAULA-JÚNIOR et al., 2006).

Da casca da árvore também pode ser obtido carvão adsorvente para tratamento de efluentes (PATIAS et al., 2015), e o próprio pequizeiro é considerado árvore melÍfera (MACEDO, 2005).

A casca do pequi (epicarpo e mesocarpo externo) é comumente aproveitada para fabricação de sabão, tinturaria, produção de energia e adubo orgânico (ALMEIDA et al., 1998).

Do putâmen, pode-se extrair óleo de elevado teor de carotenoides, precursores de vitamina A, com função de absorver radiação ultravioleta e de capturar radicais livres e com potencial uso na alimentação humana para frituras, devido ao perfil dos ácidos graxos monoinsaturados (SEGALL et al., 2006). Este óleo também tem aplicação em cosméticos (ALMEIDA et al., 1998), uso medicinal com efeito expectorante (BRANDÃO et al., 2002), como biodiesel (SILVA et al., 2014) e atividade inseticida contra *Sitophilus zeamais* (COITINHO et al., 2006).



A amêndoa (castanha ou semente) pode ser consumida torrada e salgada (RABÊLO et al., 2008), na forma de paçoca (VERA et al., 2007) ou por meio da extração do óleo branco, com perfil de 57,15 g.100 g<sup>-1</sup> ácido oleico, 35,53 g.100 g<sup>-1</sup> palmítico, 4 g.100 g<sup>-1</sup> esteárico e 2,38 g.100 g<sup>-1</sup> linoleico, com propriedade de redução da inflamação tópica (OLIVEIRA et al., 2010).

O problema da sazonalidade do pequi envolve o desafio de comercializá-lo durante o período de entressafra. Como alternativa, são empregadas tecnologias de processamento para aumentar o *shelf life* (vida de prateleira) e manter as características nutricionais e sensoriais desejáveis.

Algumas técnicas estão sendo elucidadas, como o ultracongelamento do putâmen (SOUZA et al., 2013), o processamento da polpa em pasta adicionada de ácido cítrico e cloreto de sódio e uso de diferentes embalagens (PINEDO et al., 2010), processamento mínimo em embalagem a vácuo (DAMIANI et al., 2008), diferentes cortes e sanificantes no amaciamento do putâmen (RODRIGUES et al., 2007), diferentes atmosferas modificadas (SOUZA et al., 2007), processamento higiênico-sanitário de conservas (FERREIRA & JUNQUEIRA et al., 2009), extração de óleo da amêndoa (MATA et al., 2009), incorporação da amêndoa em cookies (SILVA et al., 2014) e produção de farinhas da casca (SOARES JÚNIOR et al., 2010).

Os produtos processados, além de aumentar a disponibilidade do pequi durante todo o ano e permitir distribuição em longas distâncias, também têm valor agregado mais elevado, como o óleo do putâmen, que atingiu preço médio do litro de R\$ 56,75 (CONAB, 2015).

#### **1.4 Aproveitamento de Resíduos Alimentícios**

O aproveitamento de coprodutos de agroindústrias para suplementação animal e alimentação humana é uma alternativa interessante e viável; no Brasil, a produção é estimada em mais de 300 milhões de toneladas ao ano (FARIA et al., 2008).

Além do desperdício e do combate à desnutrição, há a crescente preocupação com o descarte destes resíduos, que podem levar a problemas ambientais pela presença de substâncias de alto valor orgânico, potenciais fontes de nutrientes para micro-organismos, como também a perdas de biomassa e energia, exigindo investimentos significativos em tratamentos para controlar a poluição (ABUD & NARAIN, 2009).

Surge então a necessidade de estudos visando ao aproveitamento dos resíduos da atividade agroindustrial e extrativista para a produção de alimentos que possam ser incorporados à alimentação humana e animal, uma vez que as maiores quantidades de vitaminas e sais minerais se concentram nas cascas de frutos e legumes (LAUFENBERG et al., 2003).

Os resíduos do processamento de polpa de frutos, como acerola (*Malpighia puniceifolia* L.), umbu (*Spondias tuberosa* Arruda), goiaba (*Psidium guayava* L.) e maracujá (*Passiflora edulis* L.) foram secos e incorporados a biscoitos, resultando em boa aceitação sensorial e qualidade nutricional (ABUD & NARAIN, 2009).

Após a extração do putâmen do pequi, a casca, que representa aproximadamente 76 g.100 g<sup>-1</sup> da massa total do fruto, geralmente é descartada (VERA et al., 2007). Esse resíduo significa um problema fitossanitário, pois é inóculo de doenças e pragas, com isso o aproveitamento comercial representa uma fonte a mais de renda e redução dos impactos ambientais (PESSOA et al., 2013).

A farinha da casca do pequi é alternativa satisfatória para aproveitamento alimentar, já que na maioria dos casos é considerada um resíduo. Existe um nicho no mercado de desenvolvimento de novos produtos a ser explorado, tanto para a alimentação humana como também para a alimentação animal (PESSOA et al., 2013).

Geraseev et al. (2011) estudaram a cinética de degradação ruminal em dietas com substituição de 10 g.100 g<sup>-1</sup> do capim elefante por farelo da casca do pequi (epicarpo e mesocarpo) administradas em cabras, concluindo que houve maior degradabilidade da matéria seca e fibra em detergente neutro, e menor de proteína.

Bonfá et al. (2009) analisaram o efeito da inclusão de zero, 10 g.100 g<sup>-1</sup>, 20 g.100 g<sup>-1</sup> e 30 g.100 g<sup>-1</sup> do farelo da casca de pequi na dieta de caprinos e não encontraram alteração na digestibilidade aparente dos nutrientes.

Pessoa et al. (2009) avaliaram a digestibilidade dos nutrientes da casca de pequi em tilápia-do-nilo e encontraram coeficientes de digestibilidade de 97%, 89% e 55% para proteína bruta, extrato etéreo e fibra bruta, respectivamente.

Lima et al. (2012) identificaram elevados teores de degradabilidade da casca de pequi (degradabilidade potencial em 89,56%), indicando este resíduo para a alimentação de bovinos.

Esses resultados mostram que a farinha da casca de pequi é uma possível alternativa para alimentação animal, como ruminantes e peixes, no entanto, são

necessários testes de formulações com a inclusão deste subproduto na ração e avaliação de desempenho, digestibilidade e degradabilidade.

A casca do pequi processada em farinha também é promissora para consumo humano, em substituição parcial à farinha de trigo e incorporação em diversos alimentos (DUBOC et al., 2013).

Alves et al. (2007) substituíram a pré-mistura de bolo por farinha da casca do pequi em até 15 g.100 g<sup>-1</sup>, com efeito satisfatório no incremento de fibra bruta.

Freitas et al. (2008) desenvolveram pão francês com incremento de até 20 g.100 g<sup>-1</sup> de farinha da casca do pequi. Obtiveram aumento na composição centesimal de carboidratos, fibras, proteínas, cinzas e aceitação sensorial acima de 85%, adequada ao desenvolvimento de um novo produto.

Couto et al. (2006) avaliaram o efeito do uso de até 20 g.100 g<sup>-1</sup> da farinha da casca do pequi na elaboração do pão de forma e observaram diminuição no teor de lipídios, aumento de fibra bruta e diminuição do volume, porém sem efeitos na textura do produto.

Soares Júnior et al. (2009) verificaram que cookies elaborados com mais de 25 g.100 g<sup>-1</sup> de farinha da casca de pequi tiveram maiores teores de fibra bruta, teor de água, cinzas (magnésio, manganês e cobre) e tiveram redução em carboidratos, lipídios e no valor energético total.

Siqueira et al. (2012) elaboraram geleia *light* de manga com a pectina extraída da casca do pequi. O rendimento foi elevado (entre 14,89 g.100 g<sup>-1</sup> e 55,86 g.100 g<sup>-1</sup>) e o produto teve aceitação sensorial acima de 70%.

Monteiro et al. (2014) adicionaram até 1,5 g.100 g<sup>-1</sup> de extrato da casca de pequi em linguiça de frango e observaram resultados positivos na eliminação da oxidação lipídica e rancidez devido em decorrência da elevada ação antioxidante do extrato.

### **1.5 Fatores Antinutricionais, Compostos Bioativos e Funcionais**

O uso mais difundido da casca de pequi na alimentação apresenta limitações quanto ao amplo conhecimento da composição nutricional, toxicidade e presença de fatores antinutricionais, que podem reduzir a atividade enzimática, a absorção de certos nutrientes e a ação de compostos químicos (SIQUEIRA et al., 2013).

Como produto de origem vegetal, o pequi tem fatores antinutricionais sintetizados para defesa dos frutos. O efeito de fatores antinutricionais, como inibidores

de tripsina, inibidores de proteases, taninos e fitatos, sobre a saúde animal e humana é pouco conhecido, sendo que, além da necessidade de conhecimento de métodos adequados para a inativação destes fatores quando presentes em elevada concentração, faz-se necessário o estudo das funções benéficas ao organismo, como no caso do tratamento de doenças e no auxílio a dietas alimentares (DAMIANI et al., 2013).

Moura et al. (2013) avaliaram o efeito do extrato hidroalcoólico da casca do pequi em ratos após a administração de doxorubicina, um quimioterápico. Observaram elevados teores de flavonoides ( $12 \text{ mg.g}^{-1}$ ), polifenóis ( $384,04 \text{ mg.g}^{-1}$ ) e taninos ( $107,94 \text{ mg.g}^{-1}$ ), porém, ao contrário da ação antioxidante esperada, houve aumento da mortalidade, atribuída, hipoteticamente, à presença de substâncias tóxicas.

Almeida et al. (2009), em estudo toxicológico pré-clínico agudo do extrato hidroalcoólico de casca do pequi identificaram a dose letal mediana (DL50) de  $0,31 \text{ mg.mL}^{-1}$  e demonstraram que existe toxicidade aguda quando aplicado o extrato via intraperitoneal.

Roesler et al. (2010) reportaram ausência de potencial fototóxico e baixo potencial citotóxico do extrato etanólico de casca do pequi, com DL50 de  $2,84 \text{ mg.g}^{-1}$ .

Siqueira et al. (2013) verificaram que tempo de imersão em água superior a 48 horas após o branqueamento da farinha do mesocarpo do pequi elimina os fitatos e inibidores de tripsina e, mesmo no tratamento controle, não foram encontrados inibidores  $\alpha$ -amilase e hemaglutininas (lectina). Observaram a presença de hemolisina, inativada pelo aquecimento a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

A hemolisina desempenha função tecnológica satisfatória, devido ao potencial bactericida e anticarcinogênico (YULDASHEVA et al., 2005), assim como a ausência de inibidores  $\alpha$ -amilase, porque reduzem a absorção do amido e afeta a liberação da glicose no sangue, além de interferir em processos de fermentação, como a panificação (FUNKE & MELZIG, 2006).

Inibidores de tripsina são indesejáveis tecnologicamente, pois em grandes concentrações induzem superprodução de enzimas proteolíticas pancreáticas e, portanto, perda de aminoácidos sulfurados (LIENER, 1994). Os inibidores são usualmente inativados por tratamentos térmicos (VAN-DER-VEN et al., 2005).

Segundo Silva & Silva (1999) o tratamento térmico por torrefação em amêndoas de pequi reduziu os teores de taninos e de fitatos. Os taninos se ligam a substâncias orgânicas, como as proteínas, e as precipitam, inibem enzimas digestivas e afetam

vitaminas e minerais (MONTEIRO et al., 2005). Entretanto, apresentam capacidade antioxidante de sequestrar radicais livres como hidroxil, superóxido e peróxido (PIMENTEL et al., 2005).

Apesar de os fitatos (ácido fítico) terem ação quelante e, portanto, diminuam a biodisponibilidade de minerais para absorção e digestibilidade proteica (GRAF & EATON, 1990), também é conhecido o potencial antioxidante e anticarcinogênico (JARIWALLA, 2001). A afinidade em associar-se ao ferro é uma atividade antioxidante, portanto, de interesse na indústria alimentícia e na formulação de rações por atuar como antioxidante natural e prolongar a preservação do alimento (STODOLAK et al., 2007).

Por outro lado, a farinha do mesocarpo do pequi é muito rica em importantes compostos para a saúde humana, como fibra alimentar total (SOARES JÚNIOR et al., 2010), pectina (SIQUEIRA et al., 2012), compostos fenólicos (RÉGIS et al., 2013), carotenoides e vitamina C (MONTEIRO et al., 2015).

Os alimentos funcionais (ou ainda nutracêuticos, nutragênicos, biocêuticos, *medical food*, *nutritional food*, *pharmafood*, *therapeutic food*, *fitness food*) apresentam substâncias com funções biológicas distintas, os compostos bioativos, responsáveis por garantir a manutenção da saúde, embora não possam ser considerados medicamentos (FARRET et al., 2005).

Conforme Resolução nº18/1999 da ANVISA, propriedade funcional é relativa ao papel metabólico ou fisiológico que o nutriente desempenha no crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções normais do organismo. O consumo do alimento deve ser seguro sem supervisão médica, e a eficácia deve ser comprovada se for um composto não reconhecido pela comunidade científica (BRASIL, 1999).

Segue abaixo tabela com as alegações funcionais permitidas a serem veiculadas na rotulagem do alimento, regulamentadas pela ANVISA, de alguns compostos comumente presentes em iogurtes fortificados com farinhas e suas respectivas concentrações mínimas (TABELA 1.2).

**TABELA 1.2.** Concentração mínima de compostos permitidos na rotulagem de alimentos para alegação de propriedades funcionais.

Composto	Concentração Mínima	Alegação
Ômega 3* (ácido graxo)	0,1 g.100 g <sup>-1</sup>	O consumo de ácidos graxos ômega 3 auxilia na manutenção de níveis saudáveis de triglicerídeos, desde que associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis.
Licopeno, luteína ou zeaxantina (carotenoides)	---	Tem ação antioxidante que protege as células contra os radicais livres. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis.
Beta-glucana, dextrina resistente, FOS, goma guar, inulina, quitosana (Fibra alimentar)	3 g.porção <sup>-1</sup> (alimento sólido) ou 1,5 g.porção <sup>-1</sup> (líquido)	As fibras alimentares auxiliam o funcionamento do intestino. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis.
<i>Lactobacillus casei</i> ( <i>shirota, rhamnosus,</i> <i>defensis</i> ) <i>L. paracasei,</i> <i>Lactococcus lactis,</i> <i>Bifidobacterium</i> ( <i>bifidum, animalis,</i> <i>lactis, longum</i> ), <i>Enterococcus</i> <i>faecium</i> (probióticos)	10 <sup>8</sup> a 10 <sup>9</sup> UFC.porção <sup>-1</sup>	Contribui para o equilíbrio da flora intestinal. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis.

\* Ácido eicosapentaenóico (EPA) ou ácido docosahexapentaenóico (DHA).

Compostos típicos que apresentam atividade antioxidante estão incluídos na classe de fenóis, ácidos fenólicos e derivados, flavonoides, tocoferóis, fosfolipídios, aminoácidos, ácido fítico, ácido ascórbico, pigmentos e esteróis (ROESLER et al., 2007).

Os compostos fenólicos são substâncias produzidas no metabolismo secundário das plantas, tendo a finalidade de defesa em situações de estresse, contra a radiação ultravioleta ou infecções por patógenos (FARAH & DONANGELO, 2006).

Para a saúde humana, os compostos fenólicos representam substâncias bioativas, podendo exercer funções relacionadas à prevenção de doenças cardiovasculares, estresse oxidativo e doenças crônico-degenerativas, em razão da ação antioxidante (ROCHA et al., 2011).

A alta capacidade antioxidante da casca do pequi é atribuída principalmente aos compostos fenólicos, como ácido gálico, ácido quínico, quercetina e quercetina 3-O-arabinose (ROESLER et al., 2008). Também o elevado teor de carotenoides e vitamina C tem ação antioxidante, propriedade tecnológica interessante na fabricação de alimentos gordurosos, para retardar a oxidação lipídica. Esse potencial emprego como antioxidante natural, por ter maior aceitação dos consumidores, é desejável em relação ao uso do sintético, que não está completamente regulamentado pela legislação (MONTEIRO et al., 2015).

Alguns carotenoides são precursores da vitamina A, outros têm ação antioxidante e são considerados funcionais (BENDER, 2003). Foram encontrados majoritariamente no pequi violaxantina, seguido de luteína e zeaxantina, e por fim, baixos teores de  $\beta$ -criptoxantina,  $\beta$ -caroteno e neoxantina (MELEIRO & AMAYA, 2004).

A pectina vem sendo empregada na alimentação, visando a produzir efeitos fisiológicos benéficos ao organismo humano, tais como redução dos níveis de colesterol, lipoproteínas, ácidos biliares e glicose. Apresenta ainda propriedades geleificante, espessante e estabilizante, bastante desejáveis pela indústria de alimentos (SIQUEIRA et al., 2012).

Fibra bruta, fibra alimentar total, ou fibra dietética é classificada como funcional devido aos efeitos benéficos no corpo humano, como reduzir níveis de colesterol, prevenção ao câncer, aumento da função intestinal, intervenção no metabolismo de lipídios e carboidratos e fisiologia do trato gastro-intestinal (PHILLIPS et al., 2008).

A fração de fibra insolúvel é relacionada ao aumento do bolo fecal, garantindo a peristalse intestinal, evitando a constipação, hemorróidas e diverticulite, já a fibra alimentar solúvel tem efeitos no metabolismo da insulina e colesterol (SIQUEIRA et al., 2013), apresentando efeito hiperglicêmico, reduzindo a absorção da glicose e diminuindo o trânsito intestinal (CORRÊA, 2002).

## **1.6 Leites Fermentados Probióticos e Prebióticos**

Devido aos grandes benefícios dos alimentos funcionais, várias pesquisas se direcionam no sentido de elucidar esta função em alimentos pouco explorados e incorporá-los em diversos novos produtos, caso da adição de farinhas prebióticas em iogurtes probióticos.

De acordo com a resolução nº5/2000/MAPA e instrução normativa nº48/2007/MAPA, iogurte é um leite fermentado, ou seja, o produto resultante da fermentação do leite pasteurizado ou esterilizado, com cultivos específicos de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e opcionalmente outros, com adição máxima de ingrediente não lácteo em 30 g.100 g<sup>-1</sup> (BRASIL, 2007; BRASIL, 2000). A resolução estabelece a acidez em ácido láctico de 0,6 a 1,5 g.100 g<sup>-1</sup> e contagem mínima de 10<sup>7</sup> UFC.g<sup>-1</sup> de bactérias lácticas totais.

Existem vários leites fermentados disponíveis no mercado (TABELA 1.3). Para um alimento ser probiótico, deve ter micro-organismos vivos capazes de melhorar o equilíbrio microbiano intestinal, produzindo efeitos benéficos à saúde do indivíduo (BRASIL, 2002).

**TABELA 1.3.** Leites fermentados comerciais e micro-organismos relacionados à função probiótica.

<b>Marca</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Probiótico</b>
Yakult	Yakult	<i>L. casei</i> Shirota
Chamyto	Nestlé	<i>L. johnsonii</i> e <i>L. helveticus</i>
Leite fermentado Parmalat	Parmalat	<i>L. casei</i> , <i>B. lactis</i> e <i>L. acidophilus</i>
Vigor Club - Pokemons	Vigor	<i>L. casei</i> e <i>L. acidophilus</i>
Batavito	Batavo	<i>L. casei</i>
LC1 Acitive	Nestlé	<i>S. thermophilus</i> , <i>L. bulgaricus</i> , <i>L. acidophilus</i> NCC 208
Iogurte Biofibras	Batavo	<i>B. lactis</i> e <i>L. acidophilus</i>
Dietalact	Parmalat	<i>B. lactis</i> e <i>L. acidophilus</i>

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2002).

Os micro-organismos probióticos aprovados pela ANVISA são *Lactobacillus casei* (*shirota*, *rhamnosus*, *defensis*), *L. paracasei*, *Lactococcus lactis*, *Bifidobacterium* (*bifidum*, *animallis*, *lactis*, *longum*) e *Enterococcus faecium* (TABELA 1.2) em contagem superior a 10<sup>9</sup> UFC.porção<sup>-1</sup> durante toda a vida de prateleira do produto, mantendo essa viabilidade no ecossistema digestivo (BRASIL, 1999).

Algumas cepas mostram sensibilidade à acidez, e este problema é agravado pela pós-acidificação no armazenamento, promovida pela β-galactosidase que ainda permanece ativa de zero a 5 °C (SOARES et al., 2011).



Os probióticos facilitam a formação da chamada barreira probiótica no intestino, impedindo assim a colonização da microbiota por bactérias patogênicas por mecanismos de competição, proporcionam estímulo ao sistema imunológico facilitando a defesa do organismo, significativa redução dos níveis de colesterol total com diminuição do LDL, melhora da digestão de proteínas e aumento da absorção de vitaminas e minerais (VARAVALLO et al., 2008).

Os prebióticos são componentes alimentares não digeríveis que afetam benéficamente a flora intestinal pelo estímulo seletivo na proliferação ou atividade de populações de bactérias desejáveis no cólon e, consecutivamente, podem inibir a multiplicação de patógenos, se relacionam ao aumento da absorção do cálcio, e incluem as féculas, fibras dietéticas, inulina, álcoois do açúcar e oligossacarídeos (OLIVEIRA, 2014).

Um prebiótico age como um alimento para probióticos inerentes ao cólon humano (SHRIVASTVA & GOYAL, 2007). A associação de ambos origina o produto simbiótico, passível de aumentar as chances de crescimento e colonização das bactérias probióticas no trato digestivo, pelo fato de o substrato estar disponível para fermentação (OLIVEIRA et al., 2014). Segundo os autores é interessante que o prebiótico selecionado seja um substrato metabolizável pelo micro-organismo probiótico, como, por exemplo, as bifidobactérias associadas a galactooligossacarídeo, lactobacilos associados a lactitol, ou inulina e FOS (frutoligossacarídeo) associados a bifidobactérias.

Capitani et al. (2014) elaboraram iogurte simbiótico de *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* spp. e de uma fibra prebiótica, a polidextrose.

Gonçalves et al. (2013) avaliaram a aceitação de iogurtes adicionados de 10 g.100 g<sup>-1</sup> de farinhas mistas de maçã, uva e maracujá, o que resultou em sabor residual amargo.

Bartnikowsky et al. (2014) elaboraram iogurte simbiótico com 16 g.100 g<sup>-1</sup> de preparado de jabuticaba, 3 g.100 g<sup>-1</sup> de inulina e 1 g.100 g<sup>-1</sup> de farinha de casca de jabuticaba, adicionado de *Bifidobacterium animalis*. O produto teve boa aceitação sensorial e características físico-químicas de acordo com a legislação.

Diante do exposto, o presente estudo foi direcionado a elucidar a obtenção de coproduto funcional, a farinha do mesocarpo de pequi, por liofilização e diferentes

temperaturas de secagem em estufa de circulação de ar forçada, caracterizá-la quanto às propriedades físico-químicas e empregá-la no enriquecimento de iogurtes naturais.

## 1.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUD, A.K.S.; NARAIN, N. Incorporação da farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.12, n.4, p.257-265, 2009.

ALMEIDA, A.C.; SOBRINHO, E.M.; PINHO, L.; SOUZA, P.N.S.; MARTINS, E.R.; DUARTE, E.R.; SANTOS, H.O.; BRANDI, I.V.; CANGUSSU, A.S.; COSTA, J.P.R. Toxicidade aguda dos extratos hidroalcoolicos das folhas de alecrim-pimenta, aroeira e barbatimão e do farelo da casca de pequi administrados por via intraperitoneal. **Ciência Rural**, v.40, n.1, p.200-203, 2009.

ALMEIDA, S.P.; PROENÇA, C.E.B.; SANO, S.M.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. 464p.

ALVES, J.S.; COUTO, E.M.; PEREIRA, J. **Caracterização de bolos à base de pré-mistura elaboradas com farinha de casca de pequi**. In: XVI Congresso de Pós-Graduação da UFLA, 2007. Anais XVI Congresso de Pós-Graduação da UFLA, 2007.

AMARAL, L.F.B.; MORIEL, P.; FOGGIO, M.A.; MAZZOLA, P.G. *Caryocar brasiliense* supercritical CO<sub>2</sub> extract possesses antimicrobial and antioxidant properties useful for personal care products. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v.14, n.73, 2014.

ANDERSEN, O.; ANDERSEN, V.U. **As frutas silvestres brasileiras**. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 203p.

ÂNGELO, H.; AFONSO, S.R. **A utilização de produtos não-madeireiros do cerrado: o caso do pequi em Japonvar**. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL DE DESENVOLVIMENTO LOCAL BRASIL CANADÁ, 2, 2007, Campo Grande Anais... p.1-20, 2007.

APG - ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.161, n.2, p.105-121, 2009.

BARBOSA, R.C.M.V.; AMANTE, E.R. **Farinha da casca de pequi (*Caryocar brasiliense*)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17, 2002, Belém, PA. Anais... Belém, PA: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2002. 1 CD-ROM.

BARTNIKOWSKY, S.; ELEGRINI, J.; OLIVO, I.; RIBEIRO, D.H.B.; CHAVES, A.C.S.D. **Desenvolvimento e caracterização de iogurte concentrado simbiótico de jabuticaba com farinha de casca de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*)**. In: SBCTA, 24, 2014, Aracaju. Anais... Aracaju, XXIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2014.

BENDER, D.A. **Nutritional biochemistry of the vitamins**. London: Cambridge University Press, 2ed., 2003.

BEZERRA, J.C.B.; SILVA, I.A.; FERREIRA, H.D.; FERRI, P.H.; SANTOS, S.C. Molluscicidal activity against *Biomphalaria glabrata* of Brazilian Cerrado medicinal plants. **Fitoterapia**, v.73, n.5, p.428-430, 2002.

BONFÁ, H.C.; RUFINO, L.M.A.; RIBEIRO JUNIOR, C.S.; MORAIS, G.; GERASEEV, L.C.; RIBEIRO, F.L.A. **Efeitos dos níveis de inclusão do farelo da casca de pequi sobre a digestibilidade aparente em caprinos**. In: ZOOTECA, 19,

- 2009, Águas de Lindoia. Anais... Águas de Lindoia, Associação Brasileira de Zootecnistas, 2009.
- BOTEZELLI, L.; DAVIDE, A.C.; MALAVASI, M.M. Características dos frutos e sementes de quatro procedências de *Dipteryx alata* Vogel (Baru). **Cerne**, v.6, n.1, p.9-18, 2000.
- BRANDÃO, M.; CARVLHO, P.G.S.; JESUÉ, G. **Guia ilustrado de plantas do cerrado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CEMIG, 1992.
- BRANDÃO, M.; LACA-BUENDÍA, J.P.; MACEDO, J.F. **Árvores nativas e exóticas do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002. 528p.
- BRASIL. Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Instrução Normativa n° 46, de 23 de outubro de 2007. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 out. 2007.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Resolução n°5, de 13 de novembro de 2000. Oficializa os Padrões de Identidade e Qualidade (PIQ) de Leites Fermentados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 de nov. 2000.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n°2, de 07 de janeiro de 2002. Aprova o regulamento técnico de substâncias bioativas e probióticos isolados com alegação de propriedades funcional e ou de saúde. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09 jan. 2002.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução n°18, de 30 de abril de 1999. Aprova o regulamento técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 mai. 1999.
- CAPITANI, C.; HAUSCHILD, F.A.D.; FRIEDRICH, C.J.; LEHN, D.N.; SOUZA, C.F.V. Caracterização de iogurtes elaborados com probióticos e fibra solúvel. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.8, n.2, p.1285-1300, 2014.
- COITINHO, R.L.B.C.; OLIVEIRA, J.V.; GONDIM JUNIOR, M.G.C.; CÂMARA, C.A.G. atividade inseticida de óleos vegetais sobre *Sitophilus zeamais* mots. (coleoptera: curculionidae) em milho armazenado. **Caatinga**, v19, n.2, p.176-182, 2006.
- CONAB. **Conjuntura mensal: pequi (fruto): período: 01 a 31/10/2012**. [Brasília, DF, 2015]. Disponível em: <  
<http://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaPgpdf.do?method=acaoListarConsulta>  
 a >. Acesso em: 21 jul. 2015.
- CORRÊA, A.D. **Fibras na prevenção de doenças**. Lavras: FAEPE, 2002. 43p.
- CORREA, G.C.; NAVES, R.V.; ROCHA, M.R.; CHAVES, L.J.; BORGES, J.D. Determinações físicas em frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.), cajuzinho (*Anacardium othonianum* Rizz.) e pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.), visando melhoramento genético. **Bioscience Journal**, v.24, n.4, p.42-47, 2008.
- COUTO, E.M.; MENEZES, C.C.; LIMA JUNIOR, F.A.; CIABOTTI, S. **Caracterização de pães de forma elaborados com adição de farinha de casca de pequi (*Caryocar brasiliense*)**. In: XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2006, Curitiba. Anais 2006... Curitiba: SBCTA-PR - TecArt, 2006. p.1327, 2006.
- DAMIANI, C.; ALMEIDA, T.L.; COSTA, N.V.; MEDEIROS, N.X.; SILVA, A.G.M.; SILVA, F.A.; LAGE, M.E.; BECKER, F.S. Perfil de ácidos graxos e fatores antinutricionais de amêndoas de pequi crua e torrada, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.1, p.71-78, 2013.

- DAMIANI, C.; VILAS-BOAS, E.V.B.; PINTO, D.M.; RODRIGUES, L.J. Influência de diferentes temperaturas na manutenção da qualidade de pequi minimamente processado. **Ciência agrotécnica**, v.32, n.1, p.201-212, 2008.
- DUBOC, E.; MOREIRA, J.M.M.A.P.; JUNQUEIRA, N.T.V.; MOURA, G.A.; RICHETTI, A. **Análise da viabilidade econômico-financeira de um sistema agrissilvipastoril com pequi (*Caryocar spp.*): Estudo de caso: Sítio recanto Água Limpa, MT**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 47p.
- EUROMONITOR INTERNATIONAL. Passport. London, 2012.
- FAGUNDES, M.; ARAÚJO, L.S.; NUNES, Y.R.F. Efeitos do estágio sucessional do hábitat na fenologia do pequizeiro (*Caryocar brasiliense*: Caryocaraceae). **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, n.1, p.144-146, 2007.
- FARAH, A; DONANGELO, C.M. Phenolic compounds in coffee. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, n.1, p.23-36, 2006.
- FARIA, M.M.S.; JAEGER, S.M.P.L.; OLIVEIRA, G.J.C.; OLIVEIRA, R.L.; LEDO, C.A.S.; SANTANA, F.S. Composição bromatológica do co-produto do desfibramento do sisal tratado com uréia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.3, p.377-382, 2008.
- FARRET, J.F. Aplicações da nutrição em cardiologia. In: FARRET, J.F. (coord.). **Nutrição e doenças cardiovasculares: prevenção primária e secundária**. São Paulo: Atheneu, 2005.
- FERREIRA, L.C.; JUNQUEIRA, R.G. Hygienic and sanitary conditions of a pequi pulp preserve industry in the northern area of the state of Minas Gerais. **Ciência e agrotecnologia**, v.33, Edição Especial, p.1825-1831, 2009.
- FERREIRA, M.B. Frutos comestíveis nativos do cerrado em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v.61, n.6, p.9-18, 1980.
- FREITAS, M.M.C. ; TEIXEIRA, M.A.V. ; ORNELLAS, C.B.D. **Obtenção de pão com farinha do mesocarpo interno do pequi (*Caryocar brasiliense*)**. In: XXI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos e XV Seminário Latino Americano e do Caribe de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belo Horizonte, 2008.
- FUNKE, I.; MELZIG, M.F. Traditionally used plants in diabetes therapy-phytotherapeutics as inhibitors of alfa-amylase activity. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.16, n.1, p.1-5, 2006.
- GERASEEV, L.C.; RIBEIRO, F.L.A.; BONFÁ, H.C. RUFINO, L.M.A.; RIBEIRO JÚNIOR, C.S.; DUARTE, E.R. Ruminal degradation kinetics of diets with pequi hulls bran. **Ciência Rural**, v.41, n.9, p.1626-1631, 2011.
- GONÇALVES, C.R.; LEÃO, M.F. Produção de iogurte com adição das farinhas mistas a partir dos resíduos de maçã, maracujá e uva. **Centro Científico Conhecer - Goiânia**, v.9, n.17; p.3618-3631, 2013.
- GRAF, E.; EATON, J.W. Antioxidant functions of phytic acid. **Free Radical Biology e Medicine**, v.8, n.1, p.61-69, 1990.
- GRATÃO, L.H. Taste and Landscape – What reveals the pequi in this imbrication of being and cultural essence. **Geograficidade**, v.4, número especial, p.4-15, 2014.
- IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA**: dados sobre extração vegetal por tipo de produto extrativo. [Rio de Janeiro, 2015]. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=289ez=teo=18>>. Acesso em: 12 ago. 2015.
- JARIWALLA, R.J. Rice-bran products: phytonutrients with potential applications in preventive and clinical medicine. **Drugs under Experimental and Clinical Research**, v.27, n.1, p.17-26, 2001.

- LAUFENBERG, G.; KUNZ, B.; NYSTROEM, M. Transformation of vegetable waste into value added products: (a) the upgrading concept; (b) practical implementations. **Bioresource Technology**, v.87, n.2, p.167-198, 2003.
- LIENER, I.E. Implications of antinutritional components in soybean foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.34, n.1, p.31-67, 1994.
- LIMA, T.R.F.; FARIA, T.M.; CORDEIRO, D.A.; CASTRO, A.L.A. **Avaliação bromatológica do resíduo de pequi**. In: IX Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2012, Goiânia, GO. Anais do IX CONPEEX (CONPEEX 2012), p.8607-8617. Goiânia: UFG/SIEC/PROEC, 2012.
- LOPES, P.S.N.; PEREIRA, A.V.; PEREIRA, E.B.C.; MARTINS, E.R.; FERNANDES, R.C. Pequi. In: VIEIRA, R. F.; COSTA, T. S. A.; SILVA, D. B.; FERREIRA, F.R.; SANO, S.M. **Frutas Nativas da Região Centro-Oeste do Brasil**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. 320p.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Vol.2. 4ªed. Nova Odessa: Plantarum, 2002. 384p.
- LUZ, G.R.; RODRIGUES, P.M.S.; MENINO, G.C.O.; COUTINHO, E.S.; NUNES, Y.R.F. Caracterização física de frutos e putâmens e taxa de ataque por *carmenta* sp. a pequizeiros (*Caryocar brasiliense* Camb.) no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.3, p.746-756, 2011.
- MACEDO, J.F. **Pequi: do plantio à mesa**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2005. 44p. (Boletim Técnico; 76).
- MARIN, R.; PIZZOLI, G.; LIMBERGER, R.; APEL, M.; ZUANAZZI, J.A.S.; HENRIQUES, A.T. **Propriedades nutraceuticas de algumas espécies frutíferas nativas do sul do Brasil**. In: RASEIRA, M.C.B.; ANTUNES, L.E.C.; TREVISAN, R.; GONÇALVES, E.D. Espécies frutíferas nativas do sul do Brasil. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.107-122. 2004. (Documentos, 129).
- MATA, S.J.R.; CASTRO, E.M.; VIEIRA, L.T.; MARTINS, S.S.; DEUS, T.N.; SILVA, A.M.L. **Extração e caracterização do óleo da amêndoa do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) para uso em cosméticos**. In: A Química e a Sustentabilidade, 2009, Porto Alegre. A Química e a Sustentabilidade, 2009.
- MEDEIROS, H.; AMORIM, A.M.A. ***Caryocaraceae* in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB6687>>. Acesso em: 21 Set. 2015.
- MELEIRO, C.H.A.; AMAYA, D.B.R. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.17, n.3-4, p.385-396, 2004.
- MONTEIRO, J.M.; ALBUQUERQUE, U.P.; ARAÚJO, E.L. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química Nova**, v.28, n.5, p.892-896, 2005.
- MONTEIRO, S.S.; COPETTI, C.; NOGARA, G.; DALLA NORA, F.M.; PRESTES, R. C.; ROSA, C.S. Natural antioxidant from Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) peel in the production of sausage. **International Food Research Journal**, v.21, n.5, p.1963-1970, 2014.
- MONTEIRO, S.S.; SILVA, R.R.; MARTINS, S.C.S.; BARIN, J.S. ROSA, C.S. Phenolic compounds and antioxidant activity of extracts of pequi peel (*Caryocar brasiliense* Camb.). **International Food Research Journal**, v.22, n.5, p.1985-1992, 2015.
- MOURA, L.R.; MARTINS, A.C.; VAZ, L.A.R. ORPINELLI, S.R.T.; SILVA, T.P.; FALEIRO, M.B.R.; SANTOS, S.C.; MOURA, V.M.B.D. Extrato hidroalcoólico da casca do pequi (*Caryocar brasiliense*) em ratos submetidos à aplicação de doxorrubicina. **Ciência Rural**, v. 43, n.1, p.100-106, 2013.

- OLIVEIRA, L. **Probióticos, prebióticos e simbióticos: definição, benefícios e aplicabilidade industrial.** Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, 2014.
- OLIVEIRA, M.L.M.; NUNES-PINHEIRO, D.C.S.; TOMÉ, A.R.; MOTA, E.F., LIMA-VERDE, I.A.; PINHEIRO, F.G.M.; CAMPELLO, C.C.; MORAIS, S.M. In vivo topical anti-inflammatory and wound healing activities of the fixed oil of *Caryocar coriaceum* Wittm. Seeds. **Journal of Ethnopharmacology**, v.129, n.2, p.214–219, 2010.
- OLIVEIRA, M.N.; SIVIERI, K.; ALEGRO, J.H.A.; SAAD, S.M.I. Aspectos tecnológicos de alimentos funcionais contendo probióticos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.38, n.1, p.1-21, 2002.
- PATIAS, S.G.O.; SÁVIO, J.; COSTELLI, M.C.; SILVA, A.; CANCELIER, A.; LOPES, T.J. Obtenção de carvão adsorvente oriundo da casca de pequi (*Caryocar brasiliense*) e sua aplicação no tratamento de efluentes da indústria têxtil através do processo de adsorção. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.19, n.2, p.1482-1492, 2015.
- PAULA-JUNIOR, W.; ROCHA, F.H.; DONATTI, L.; FADEL-PICHETH, C.M.T.; WEFFORT-SANTOS, A.M. Leishmanicidal, antibacterial, and antioxidant activities of *Caryocar brasiliense* Cambess leaves hydroethanolic extract. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v.16, supl., p.625-630, 2006.
- PESSOA, M.S.; AVELAR, J.C.S.; NASCIMENTO, A.L.H.; SILVA, K.L; SOARES, A.C.M.; CAMARGO, A.C.S.; FARIA FILHO, D.E. Performance of Nile tilapia fed with bran made of pequi peel. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n.2, p.547-552, 2013.
- PESSOA, M.S.; PEREIRA, A.K.S.; VIEIRA, L.C.; CAMARGO, A.C.S. **Digestibilidade dos nutrientes da casca de pequi (*caryocar brasiliensis* camb.) para tilápias do nilo (*Oreochromis niloticus*).** In: ZOOTECA, 19., 2009, Águas de Lindoia. *Anais...* Águas de Lindoia, Associação Brasileira de Zootecnistas, 2009.
- PHILLIPS, G.O.; OGASAWARA, T.; USHIDA, K. The regulatory and scientific approach to defining gum Arabic (*Acacia senegal* and *Acacia seyal*) as a dietary fibres. **Food Hydrocolloids**, v.22, n.1, p.24-35, 2008.
- PIMENTEL, C.V.M.B.; FRANCKI, V.M.; GOLLUCKE, A.P.B. **Alimentos funcionais: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos.** São Paulo: Varela, 2005. 95p.
- PINEDO, A.A.; MACIEL, V.B.V.; CARVALHO, K.M.; COELHO, A.F.S.; GIRALDO-ZUÑIGA, A.D.; ARÉVALO, Z.D.S.; ALVIM, T.C. Processing and stability study of pequi paste (*Caryocar brasiliense*). **Food science and technology**, v.30, n.3, p.664-668, 2010.
- RABÊLO, A.M.S.; TORRES, M.C.L.; GERALDINE, R.M.; SILVEIRA, M.F.A. Extration, drying, and toasting of the pequi almond (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Food Science and Technology**, v.28, n.4, p.868-871, 2008.
- RÉGIS, W.C.B.; SOUZA, M.R.R.; SILVEIRA, R.A.A. Preliminary Comparison of the Chemical Components of the Different Parts of the Pequi (*Caryocar brasiliense*), which is Commercialized in the Vale do Jequitinhonha and Northern Minas Gerais. **Percursos Acadêmicos**, v.3, n.6, p.269-279, 2013.
- ROCHA, W.S.; LOPES, R.M.; SILVA, D.B.; VIEIRA, R.F.; SILVA, J.P.; COSTA, T.S.A. Compostos fenólicos totais e taninos condensados em frutas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.4., p.1215-1221, 2011.
- RODRIGUES, L.J. O pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.): **Ciclo vital e agregação de valor pelo processamento mínimo.** Dissertação. 2005. 152 f. (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

- RODRIGUES, L.J.; BOAS, E.V.B.V.; PICCOLI, R.H.; PAULA, N.R.F.; PINTO, D.M.; BOAS, B.M.V. Effect of the cut type and sanitizers on the softening of fresh cut pequi fruit (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.6, p.1793-1799, 2007.
- ROESLER, R.; CATHARINO, R.R.; MALTA, L.G.; EBERLIN, M.N.; PASTORE, G. Antioxidant activity of *Caryocar brasiliense* (pequi) and characterisation of components by electrospray ionization mass spectrometry. **Food Chemistry**, v.110, n.3, p.711-717, 2008.
- ROESLER, R.; LORENCINI, M.; PASTORE, G. Brazilian cerrado antioxidant sources: cytotoxicity and phototoxicity in vitro. **Food Science and Technology**, v.30, n.3, p.814-821, 2010.
- ROESLER, R.; MALTA, L.G.; CARRASCO, L.C.; HOLANDA, R.B.; SOUSA, C.A.S.; PASTORE, G.M. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Food Science and Technology**, v.27, n.1, p.53-60, 2007.
- SEGALL, S.D.; ARTZ, W.E.; RASLAN, D.S.; FERRAZ, V.P.; TAKAHASHI, J.A. Triacylglycerol analysis of pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) oil by electrospray and tandem mass spectrometry. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, n.3, p.445-452, 2006.
- SHRIVASTVA, S.; GOYAL, G.K. Therapeutic benefits of pro and prebiotics: a review. **Indian Food Ind**, v.26, n.2, p.41-49, 2007.
- SILVA JÚNIOR, M.C.; SANTOS, G.C.; NOGUEIRA, P.E.; MUNHOZ, C.B.R.; RAMOS, A.E. **Árvores do Cerrado: guia de campo. Brasília: Rede de sementes do cerrado**, 2005. 278p.
- SILVA, D.B.; SILVA, J.A.; JUNQUEIRA, N.T.V.; ANDRADE, L.R.M. **Frutas do Cerrado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 178p.
- SILVA, J.A.; SILVA, D.B.; JUNQUEIRA, N.T.V.; ANDRADE, L.R.M. **Frutas nativas dos cerrados**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 166p.
- SILVA, M.R.; SILVA, M.A.A.P. Aspectos nutricionais, fitatos e taninos. **Revista de Nutrição**, v.12, n.1, p.5-19, 1999.
- SILVA, R.R.; MONTEIRO, S.S.; ROSA, C.S. Amêndoa de pequi (*Caryocar brasiliense* camb.) comparados com biscoitos tipo cookie de chocolate. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.16, n.1, p.77-82, 2014.
- SILVA, T.A., ASSUNÇÃO, R.M.N.; VIEIRA, A.T.; OLIVEIRA, M.F.; BATISTA, A.C.F. Methylic and ethylic biodiesels from pequi oil (*Caryocar brasiliense* Camb.): Production and thermogravimetric studies. **Fuel**, v.136, p.10-18, 2014.
- SIQUEIRA, B.S.; ALVES, L.D.; VASCONCELOS, P.N.; DAMIANI, C.; SOARES JÚNIOR, M.S. Pectina extraída de casca de pequi e aplicação em geleia *light* de manga. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, n.2, p.560-567, 2012.
- SIQUEIRA, B.S.; SOARES JÚNIOR, M.S.; FERNANDES, K.F.; CALIARI, M.; DAMIANI, C. Effect of soaking on the nutritional quality of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) peel flour. **Food Science and Technology**, v.33, n.3, p.500-506, 2013.
- SOARES JÚNIOR, M.S.; BASSINELLO, P.Z.; CALIARI, M.; REIS, R.C.; LACERDA, D.B.C.L.; KOAKUZU, S.N. Development and chemical characterization of flour obtained from the external mesocarp of “pequizeiro” fruit. **Food Science and Technology**, v.30, n.4, p.949-954, 2010.
- SOARES JÚNIOR, M.S.; REIS, R.C.; BASSINELLO, P.Z.; LACERDA, D.B.C.; KOAKUZU, S.N.; CALIARI, M. Qualidade de biscoitos formulados com diferentes teores de farinha de casca de pequi. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n.2, p.98-104, 2009.

- SOARES, D.S.; FAI, A.E.C.; OLIVEIRA, A.M.; PIRES, E.M.F.; STAMFORD, T.L.M. Aproveitamento de soro de queijo para produção de iogurte probiótico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.4, p.996-1002, 2011.
- SOUZA, E.C.; VILAS BOAS, E.V.B.; VILAS BOAS, B.M.; RODRIGUES, L.J.; PAULA, N.R.F. Qualidade e vida útil de pequi minimamente processado armazenado sob atmosfera modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.6, p.1811-1817, 2007.
- SOUZA, J.P.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; NOGUEIRA, D.H.; LIMA, J.R. Estabilidade de produtos de pequi (*Caryocar coriaceum* Wittm) sob congelamento em diferentes tipos de embalagens. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, n.4, p.971-976, 2013.
- STODOLAK, B; STARZYNSKA, A.; CZYSZCZÓN, M.; ZYLA, K. The effect of phytic acid on oxidative stability of raw and cooked meat. **Food Chemistry**, v.101, n.3, p.1041-1045, 2007.
- VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; LEÃO, A.L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v.12, n.1, p.71-80, 2002.
- VARAVALLO, M.A.; THOMÉ, J.N.; TESHIMA, E. Aplicação de bactérias probióticas para profilaxia e tratamento de doenças gastrointestinais. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v.29, n.1, p.83-104, 2008.
- VAN-DER-VEN, C.; MATSER, A.M.; BERG, R.W. Inactivation of Soybean Trypsin Inhibitors and Lipoxygenase by High-Pressure Processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, n.4, p.1087-1092, 2005.
- VERA, R., NAVES, R.V.; NASCIMENTO, J.L.; CHAVES, L.J.; LEANDRO, W.M.; SOUZA, E.R.B. Caracterização física de frutos do pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.2, p.71-79, 2005.
- VERA, R.; SOUZA, E.R.B.; FERNANDES, E.P.; NAVES, R.V.; SOARES JÚNIOR, M.S.; CALIARI, M.; XIMENES, P.A. Caracterização física e química de frutos do pequizeiro (*Caryocar brasiliense* camb.) oriundos de duas regiões no estado de goiás, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.2, p.93-99, 2007.
- YULDASHEVA, L.N.; CARVALHO, M.; CATANHO, T.J.A.; KRASILNIKOV, O.V. Cholesterol-dependent hemolytic activity of *Passiflora quadrangularis* leaves. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v.38, n.7, p.1061-1070, 2005.



## CAPÍTULO II

# CINÉTICA DA SECAGEM E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DO MESOCARPO EXTERNO DO PEQUI (*Caryocar brasiliense* Cambess)

### RESUMO

Objetivou-se neste estudo ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem do mesocarpo externo do pequi, determinar o coeficiente de difusão efetivo, obter a energia de ativação e as propriedades termodinâmicas em diferentes condições de secagem. O experimento foi desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Câmpus Rio Verde. O mesocarpo externo do pequi foi coletado na feira livre do município de Rio Verde, Goiás, Brasil, com teor de água inicial de 5,05 (decimal, b.s.) e foi submetido à secagem em estufa de ventilação forçada nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C até atingir o teor de água final de  $0,15 \pm 0,01$  (decimal, b.s.). Entre os modelos analisados, Midilli melhor representa o fenômeno de secagem. O coeficiente de difusão efetivo aumenta com a elevação da temperatura e a energia de ativação para a difusão líquida na secagem é de 11,387  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ . A entalpia decresce com o aumento da temperatura de secagem, enquanto a entropia e a energia livre de Gibbs aumentam com o acréscimo da temperatura de secagem.

**Palavras-chave:** Pequizeiro. Modelagem matemática. Energia de ativação. Modelo de Midilli.

### ABSTRACT

This paper aimed to fit different mathematical models to experimental data for drying the external mesocarp pequi, to determine the effective diffusion coefficient, and to get the activation energy and the thermodynamic properties under different drying conditions. The experiment was carried out at the Instituto Federal Goiano (Goiano Federal Institute) - Rio Verde Campus, Goiás State, Brazil. External mesocarp pequi was collected in the street market of Rio Verde City, with initial moisture content of 5.05 (decimal d.b.) and was dried in forced air oven at temperatures of 40, 50, 60, and 70 °C until to reach the final water content of  $0.15 \pm 0.01$  (decimal d.b.). Among the analyzed models, Midilli best represents the drying phenomenon. The effective diffusion coefficient increases with increasing temperature; the activation energy for drying liquid diffusion is 11.387  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ . The enthalpy decreases with increasing drying temperature, while entropy and the Gibbs' free energy increase with higher drying temperature.

**Keywords:** "Pequizeiro". Mathematical modeling. Activation Energy. Midilli Model.

## 2.1 INTRODUÇÃO

O cerrado é a segunda maior formação vegetal do Brasil, que abrange originalmente 21% do território do país, sendo localizado essencialmente no planalto central (SANO et al., 2008). Tem a mais rica flora entre as savanas do mundo, com alto nível de endemismo, porém, nos últimos anos, mais da metade dos dois milhões de km<sup>2</sup> originais foram cultivados com pastagens plantadas e culturas anuais (KLINK & MACHADO, 2005).

Existe então recorrente preocupação em preservar esta biodiversidade por meio do extrativismo sustentável das espécies nativas, com destaque ao pequi (*Caryocar Brasiliense* Cambess), de elevado valor socioeconômico e nutricional (VERA et al., 2005). O beneficiamento e a comercialização vêm crescendo a nível nacional, sendo necessário o desenvolvimento de métodos para aproveitamento do resíduo gerado, a casca, formada pelo epicarpo e mesocarpo externo (ROESLER et al., 2007).

A secagem é o processo mais utilizado para manter a qualidade de produtos vegetais, e tem por base a redução da atividade de água, com vantagens na redução do crescimento microbiano e das reações de degradação enzimática e oxidativa, bem como na redução do volume, que facilita o transporte e o armazenamento (PARK et al., 2001).

A complexidade do fenômeno de secagem pode ser descrita por meio de diversas teorias teóricas, empíricas e semi-empíricas. Os modelos teóricos fornecem indicações sobre os mecanismos internos de transporte de energia e massa de água, sendo exemplos o fluxo hidrodinâmico e as difusões líquida, capilar, superficial, de vapor e térmica (BROOKER et al., 1992). Porém existem algumas considerações a serem feitas em razão da dificuldade de se quantificarem esses múltiplos efeitos, o que pode induzir a discrepâncias entre os resultados encontrados (GONELI et al., 2007).

Os modelos semiteóricos se baseiam na Lei de Newton para resfriamento aplicada à transferência de massa, presumindo condições isotérmicas e resistência à transferência de água somente na superfície do produto (BROOKER et al., 1992). Como exemplos têm-se os modelos de Dois termos, Exponencial de dois termos, Henderson e Pabis, Lewis, Page, Page modificado, Logarítmico e Aproximação da difusão (PANCHARIYA et al., 2002).

O método empírico consiste em formar grupos físicos adimensionais determinados experimentalmente e se baseia em condições externas como temperatura,

razão da mistura e velocidade do ar de secagem, entretanto, são válidos estritamente para as condições experimentais (QUEIROZ et al., 1995).

O estudo das propriedades termodinâmicas de entropia, entalpia e energia livre de Gibbs é fundamental para a análise de dimensionamento de equipamentos e otimização de processos de preservação, secagem, armazenamento, acondicionamento e processamento de alimentos (KAYA, 2006).

Desta forma, objetivou-se estudar a modelagem matemática da secagem do mesocarpo externo do pequi para obtenção de farinha, bem como determinar e avaliar o coeficiente de difusão efetivo, obter a energia de ativação e as propriedades termodinâmicas nas temperaturas de secagem de 40, 50, 60 e 70 °C.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.2.1 Obtenção do Mesocarpo Externo do Pequi**

Os resíduos dos frutos de pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess), compostos pela casca (drupa exceto putâmen) foram obtidos na feira livre do município de Rio Verde, estado de Goiás, Brasil, provenientes da safra de 2015 da região norte de Minas Gerais. Foram acondicionados em sacarias e encaminhados ao Laboratório de Frutas e Hortaliças do Instituto Federal Goiano - Câmpus Rio Verde, para seleção daqueles com aspecto visual satisfatório, livres de injúrias mecânicas e contaminação microbiológica aparente.

Os resíduos foram descascados manualmente, com auxílio de facas de aço inox sanitizadas, separando as frações fisiológicas do epicarpo e mesocarpo externo. O mesocarpo externo foi sanitizado previamente por imersão em solução de hipoclorito de sódio 0,015%, por 15 minutos, seguida de imersão em solução de bissulfito de sódio 0,25% por 2 minutos para minimizar reação de escurecimento enzimático e subsequente enxágue em água corrente. O mesocarpo externo foi fracionado uniformemente, e os pedaços, acondicionados em sacos de polietileno destinados ao congelamento (-20 °C) até o momento da secagem.

### **2.2.2 Secagem do Mesocarpo Externo do Pequi**

O mesocarpo externo de pequi foi descongelado em temperatura ambiente imediatamente antes da secagem em estufa de circulação forçada de ar (Marconi<sup>®</sup>/MA-

035). A secagem foi realizada nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, com umidade relativa interna de, respectivamente, 19,8%, 11,8%, 7,3% e 4,7%, monitorada por termo-higrômetro digital (Equitherm<sup>®</sup>/TH-439) e velocidade do ar média de 2,81±0,34 m.s<sup>-1</sup>, monitorada por anemômetro (Instrutherm<sup>®</sup>/TAR-176).

O mesocarpo do pequi apresentou teor de água inicial de 5,05 (decimal, b.s.), determinado previamente em estufa a 105±1 °C, durante 24 horas, em nove repetições (AOAC, 2012).

Os pedaços fracionados do mesocarpo, com dimensões médias de 1,65 cm de comprimento, 1,66 cm de largura e 0,77 cm de espessura, foram distribuídos homogeneamente em três bandejas com malha de nylon que permitiam o fluxo de ar. As bandejas foram pesadas sucessivamente até obtenção de teor de água final de 0,15±0,01 (decimal, b.s.)

### 2.2.3 Modelagem Matemática da Secagem

Para a determinação das razões de teor de água do mesocarpo do pequi durante a secagem, utilizou-se a seguinte expressão:

$$RX = (X - X_e)/(X_i - X_e) \quad (1)$$

Em que:

RX: razão de teor de água do produto, adimensional;

X: teor de água do produto (decimal, b.s.);

X<sub>i</sub>: teor de água inicial do produto (decimal, b.s.); e

X<sub>e</sub>: teor de água de equilíbrio do produto (decimal, b.s.).

Aos dados experimentais da secagem do mesocarpo do pequi foram ajustados os modelos matemáticos empíricos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos alimentícios (TABELA 2.1).

**TABELA 2.1.** Modelos matemáticos utilizados para predição da secagem do mesocarpo de pequi (Continua).

<b>Equação do modelo</b>	<b>Modelo</b>	
$RX = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	Wang e Singh	(2)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \exp(-k_1 \cdot t)$	Verma	(3)

TABELA 2.1. (Continuação).

$RX = \exp\{[-a - (a^2 + 4.b.t)^{0.5}]/2.b\}$	Thompson	(4)
$RX = \exp(-k.t^n)$	Page	(5)
$RX = \exp(-k.t)$	Newton	(6)
$RX = a.\exp(-k.t^n) + b.t$	Midilli	(7)
$RX = a.\exp(-k.t) + c$	Logarítmico	(8)
$RX = a.\exp(-k.t)$	Henderson e Pabis	(9)
$RX = a.\exp(-k.t) + (1 - a)\exp(-k.a.t)$	Exponencial de Dois Termos	(10)
$RX = a.\exp(-k_0.t) + b.\exp(-k_1.t)$	Dois Termos	(11)
$RX = a.\exp(-k.t) + (1 - a).\exp(-k.b.t)$	Aproximação da Difusão	(12)

t: tempo de secagem (hs); k, k<sub>0</sub>, k<sub>1</sub>: constantes de secagem (hs<sup>-1</sup>); a, b, c, n: coeficientes dos modelos.

Os modelos matemáticos foram ajustados por meio de análise de regressão não linear pelo método Gauss-Newton, utilizando o programa estatístico Statistica<sup>®</sup>. Os modelos foram selecionados considerando a magnitude do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), do erro médio relativo (P) e do erro medio estimado (SE). Considerou-se o valor do erro médio relativo inferior a 10% como um dos critérios para seleção dos modelos, de acordo com Mohapatra & Rao (2005).

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

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

Em que:

P: Erro médio relativo (%);

N: número de observações experimentais;

Y: valor observado experimentalmente;

$\hat{Y}$ : valor estimado pelo modelo;

SE: Erro médio estimado; e

GLR: Graus de liberdade do resíduo.

### 2.2.4 Coeficiente de Difusão Efetivo e Energia de Ativação

O coeficiente de difusão efetivo para as diversas condições de secagem foi determinado conforme modelo baseado na teoria de difusão líquida, segundo lei de Fick, com a solução analítica para a forma geométrica de cilindro infinito, com aproximação de oito termos (Equação 15):

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\lambda_n^2} \exp\left[-\frac{\lambda_n^2 \cdot D \cdot t}{4} \cdot \left(\frac{2}{r}\right)^2\right] \quad (15)$$

Em que:

RX: razão do teor de água (adimensional);

$\lambda_n$ : raízes da equação de Bessel de ordem zero;

n: número de termos;

D: coeficiente de difusão efetivo ( $m^2 \cdot s^{-1}$ );

t: tempo de secagem (s); e

r: raio equivalente (m).

O raio equivalente do mesocarpo do pequi fracionado foi determinado conforme as equações abaixo:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V}{4 \cdot \pi}} \quad (16)$$

Em que:

V: volume ( $m^3$ ).

O volume foi obtido pela medição dos três eixos ortogonais (comprimento, largura e espessura), em quinze pedaços dos resíduos, no final da secagem, com auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm, de acordo com a seguinte expressão:

$$V = \frac{\pi \cdot A \cdot B \cdot C}{6} \quad (17)$$

Em que:

A: comprimento (m);

B: largura (m); e

C: espessura (m).

A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a elevação da temperatura do ar de secagem foi descrita por meio da equação de Arrhenius (17):

$$D = D_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T_{ab}}\right) \quad (18)$$

Em que:

D: coeficiente de difusão efetivo ( $m^2 \cdot s^{-1}$ );

$D_0$ : fator pré-exponencial ( $m^2 \cdot s^{-1}$ );

$E_a$ : energia de ativação ( $kJ \cdot mol^{-1}$ );

R: constante universal dos gases ( $8,134 \text{ kJ} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ); e

$T_{ab}$ : temperatura absoluta (K).

Os coeficientes da expressão de Arrhenius foram linearizados com a aplicação do logaritmo (Equação 18):

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T_{ab}} \quad (19)$$

### 2.2.5 Propriedades Termodinâmicas da Secagem

As propriedades termodinâmicas do processo de secagem do mesocarpo do pequi foram obtidas pelo método descrito por Jideani & Mpotokwana (2009):

$$\Delta H = E_a - R \cdot T \quad (20)$$

$$\Delta S = R \cdot \left( \ln A - \ln \frac{k_B}{h_p} - \ln T_{abs} \right) \quad (21)$$

$$\Delta G = \Delta H - T_{abs} \cdot \Delta S \quad (22)$$

Em que:

$\Delta H$  = entalpia ( $J \cdot mol^{-1}$ );

$\Delta S$  = entropia ( $J \cdot mol^{-1}$ );

$\Delta G$  = energia livre de Gibbs ( $J \cdot mol^{-1}$ );

$k_B$  = constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ); e

$h_p$  = constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Cinética da Secagem

Na Tabela 2.2 estão representados os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro médio relativo (P) e erro médio estimado (SE) dos onze modelos ajustados durante a secagem do mesocarpo do pequi para obtenção de farinha, nas diferentes temperaturas.

**TABELA 2.2.** Coeficiente de determinação, erro médio relativo ( $R^2$ , P, %) e erro médio estimado (SE, decimal) para a secagem do mesocarpo do pequi nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

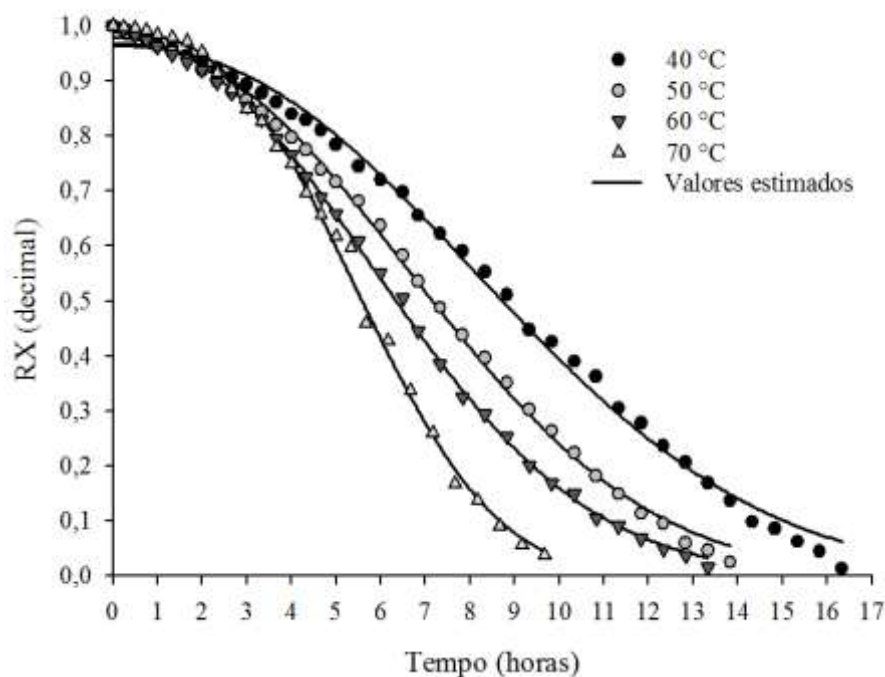
Modelo	40 °C			50 °C			60 °C			70 °C		
	R <sup>2</sup>	P	SE	R <sup>2</sup>	P	SE	R <sup>2</sup>	P	SE	R <sup>2</sup>	P	SE
2	99,27	22,42	0,03	98,85	20,93	0,04	97,81	37,96	0,05	97,88	23,76	0,05
3	87,07	89,14	0,12	98,77	20,63	0,04	97,79	37,11	0,05	79,69	74,91	0,16
4	87,06	88,67	0,12	87,27	69,73	0,12	87,65	91,76	0,13	79,69	74,67	0,16
5	99,39	20,16	0,03	99,62	11,20	0,02	99,86	8,24	0,01	99,70	5,38	0,02
6	87,07	88,67	0,12	87,27	69,74	0,12	87,66	91,80	0,12	79,69	74,69	0,15
7	99,95	3,69	0,01	99,95	3,00	0,01	99,95	2,75	0,01	99,79	4,06	0,02
8	99,07	8,74	0,03	99,01	12,31	0,03	98,50	29,82	0,04	96,58	15,06	0,06
9	91,07	74,61	0,10	91,33	57,64	0,10	91,86	74,45	0,10	86,02	61,91	0,13
10	98,98	23,34	0,03	87,27	69,73	0,12	87,66	91,79	0,13	79,69	74,69	0,16
11	99,43	18,32	0,03	91,33	57,64	0,10	91,86	74,46	0,11	86,02	61,91	0,14
12	99,18	22,48	0,03	97,96	30,08	0,05	98,44	34,84	0,05	96,21	33,13	0,07

Verificou-se que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos modelos Wang e Singh (2), Page (5), Midilli (7), Logarítmico (8) e Aproximação da Difusão (12) apresentaram valores superiores a 95% para todas as temperaturas de secagem. Isso indica boa representação dos dados experimentais nos modelos matemáticos (KASHANINEJAD et al., 2007). Porém o coeficiente de determinação utilizado de forma isolada não representa uma boa avaliação para modelos não lineares (MADAMBA et al., 2003).

Assim, analisando os valores do erro médio relativo (P) e erro médio estimado (SE), observou-se que apenas o modelo Midilli (7) apresentou valores inferiores a 10%, para todas as condições testadas, destacando-se então como o modelo mais adequado para representar o fenômeno de secagem (MOHAPATRA & RAO, 2005). Por se tratar de modelo empírico, não existe relação direta entre os coeficientes e os mecanismos de secagem, tratando-se apenas de melhor ajuste dos dados experimentais.



Foram obtidas as curvas de secagem do mesocarpo do pequi para as condições estudadas, com os valores experimentais e estimados pelo modelo de Midilli da razão do teor de água ao longo do tempo (FIGURA 2.1). Verificou-se ajuste satisfatório do modelo aos valores experimentais obtidos na secagem do mesocarpo do pequi.



**FIGURA 2.1.** Cinética de secagem do mesocarpo do pequi, com valores experimentais e estimados pelo modelo de Midilli, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

O tempo necessário para atingir o teor de água de  $0,15 \pm 0,01$  (decimal, b.s.) foi de 16,83 horas, 13,83 horas, 13,33 horas e de 9,67 horas para as temperaturas de secagem de 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

O aumento da temperatura promoveu redução no tempo de secagem do mesocarpo do pequi. Essa redução está relacionada com a diminuição na pressão de vapor proporcionada por temperaturas mais elevadas, o que aumenta a diferença entre a pressão de vapor do ar de secagem e do produto, fazendo com que a água seja removida com mais facilidade e rapidez, fato observado por diversos pesquisadores para inúmeros produtos (SANTOS et al., 2013; SILVA et al., 2014; ULLMANN et al., 2015).

Toda a secagem ocorreu em período de taxa decrescente, natural de produtos alimentícios (VALENTE, 2007). Tal fato ocorre quando o teor de água inicial estiver abaixo da umidade crítica (KUROZAWA, 2005). Nesta etapa, a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa e o movimento do líquido do interior do

sólido é insuficiente para manter a taxa de evaporação na superfície, portanto, a migração interna de água é o fator limitante, e também a temperatura do produto se aproxima daquela da corrente do ar com redução da evaporação, e a transferência de calor diminui (PARK & BROD, 1998). Os principais mecanismos de transporte de massa são o escoamento capilar, a difusão de líquido e a difusão de vapor (STRUMILLO & KUDRA, 1986).

Silva et al. (2014) modelaram a secagem de polpa de pequi nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C e concluíram que o modelo de Midilli representou satisfatoriamente o comportamento desse fenômeno. Santos et al. (2013), avaliando a secagem de grãos residuais de urucum, com e sem a camada de óleo proveniente do processo de extração, verificaram que todos os modelos avaliados, incluindo o modelo de Midilli, representaram de forma satisfatória a secagem para obtenção da farinha dos grãos.

A Tabela 2.3 apresenta os valores dos coeficientes “a”, “k”, “n” e “b” do modelo de Midilli ajustado aos dados experimentais da secagem do mesocarpo do pequi em diferentes temperaturas e velocidade do ar.

**TABELA 2.3.** Coeficientes do modelo de Midilli ajustados para a secagem do mesocarpo do pequi nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Coeficientes	Temperatura de secagem (°C)			
	40	50	60	70
A	0,9877**	0,9839**	0,9837**	0,9959**
K	0,0067**	0,0105**	0,0131**	0,0067**
N	1,9781**	2,0237**	2,1092**	2,6338**
B	-0,0107**	-0,0073**	-0,0019**	-0,0052*

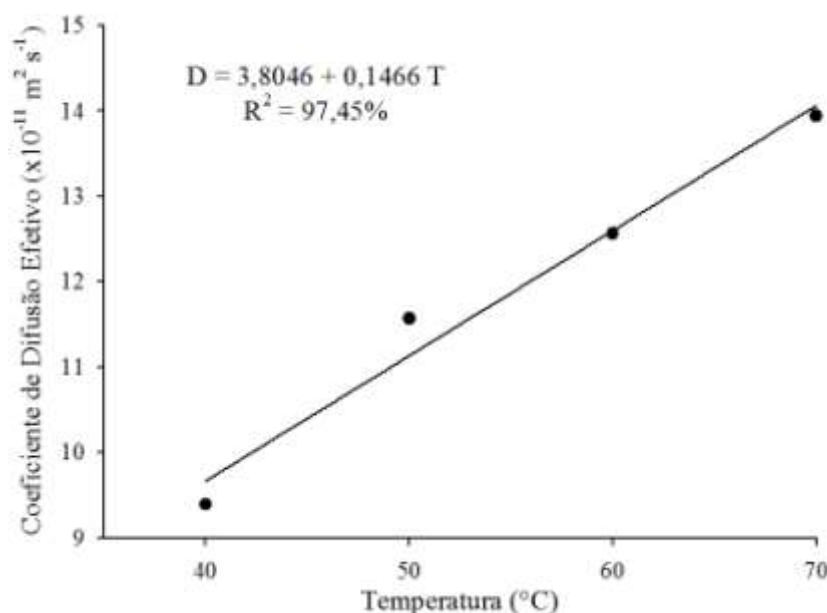
\*Significativo a 5% pelo teste t. \*\*Significativo a 1% pelo teste t.

Todos os coeficientes foram significativos pelo teste t, mostrando que podem ser utilizados satisfatoriamente para representar a secagem do mesocarpo do pequi. Os dados não se ajustaram ao modelo de equação linear.

Apenas o coeficiente n apresentou tendência a aumentar com a elevação da temperatura de secagem, comportamento similar verificado por Santos et al. (2013) na secagem de urucum entre 40 a 70 °C. Este parâmetro tem efeito de moderação do tempo e corrige os prováveis erros resultantes da negligência da resistência interna para o transporte de água (GUEDES & FARIA, 2000).

### 2.3.2 Coeficiente de Difusão Efetivo e Energia de Ativação

A Figura 2.2 apresenta os valores do coeficiente de difusão efetivo para as condições de secagem estudadas. Houve aumento linear com acréscimo da temperatura, respectivamente, valores de  $9,39 \times 10^{-11}$ ,  $11,57 \times 10^{-11}$ ,  $12,57 \times 10^{-11}$  e  $13,94 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C. Este comportamento indica maior magnitude do transporte de água do interior para a periferia do produto, confirmando observações de Silva et al. (2014) e Oliveira et al. (2014). Madamba et al. (2003) ressaltaram que os coeficientes de difusão efetivo são da ordem de  $10^{-11}$  a  $10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  para produtos agrícolas.

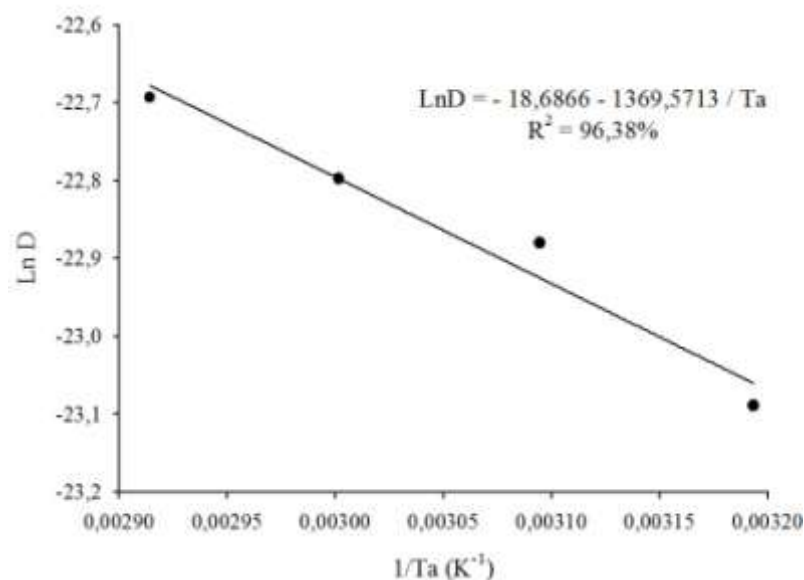


**FIGURA 2.2.** Valores médios do coeficiente de difusão efetivo ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) para a secagem do mesocarpo do pequi nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Silva et al. (2014) obtiveram valores diferentes do presente trabalho, da ordem de  $4,70 \times 10^{-14}$  a  $5,61 \times 10^{-15} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  para as temperaturas de 40 a 60 °C em polpa de pequi. Já Resende et al. (2014) encontraram magnitudes de  $0,64 \times 10^{-11}$  a  $2,36 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  para o coeficiente de difusão efetivo de grãos de sorgo.

Estas diferenças na difusividade podem ser causadas pela composição química dos produtos, como teor de lipídios, teor de água inicial e principalmente tamanho, forma geométrica e estrutura de cada material. As propriedades físicas e químicas dependentes da composição desempenham papel importante na taxa de migração de água do interior para a superfície do produto pela maior ou menor afinidade, assim como pela natureza estrutural do material (VALENTE, 2007).

A dependência do coeficiente de difusão efetivo do mesocarpo do pequi com relação à temperatura e velocidade do ar de secagem foi representada pela expressão de Arrhenius (FIGURA 2.3).



**FIGURA 2.3.** Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão em função da temperatura do ar de secagem do mesocarpo do pequi.

Nos processos de secagem, quanto menor a energia de ativação maior será a difusividade de água do produto. A energia de ativação pode ser definida como a facilidade com que as moléculas de água superam a barreira de energia durante a migração do interior do produto para o seu exterior (CORRÊA et al., 2005).

A energia de ativação para a difusão líquida do mesocarpo do pequi foi de  $11,387 \text{ kJ.mol}^{-1}$ , para a faixa de temperatura entre 40 a 70 °C. Valores menores foram verificados por outros autores, de  $10,699 \text{ kJ.mol}^{-1}$  para secagem do bagaço de laranja, por Fiorentin et al. (2012); de  $7,695 \text{ kJ.mol}^{-1}$  para secagem de polpa de pequi, por Silva et al. (2014). Estes valores refletem as características estruturais de porosidade e da composição do material biológico em estudo, sendo que o elevado teor de água inicial do mesocarpo do pequi influencia a maior facilidade para o transporte de água, dado o gradiente de concentração.

### 2.3.3 Propriedades Termodinâmicas da Secagem

A Tabela 2.4 apresenta os valores de entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, para as diferentes condições de secagem. Com acréscimo da temperatura de secagem, a entalpia decresceu, enquanto a entropia e a energia livre de Gibbs aumenta.

**TABELA 2.4.** Valores de entalpia ( $\Delta H$ ), entropia ( $\Delta S$ ) e energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) para a secagem do mesocarpo do pequi nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Temperatura (°C)	Propriedades termodinâmicas		
	$\Delta H$ (J.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S$ (J mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	$\Delta G$ (J.mol <sup>-1</sup> )
40	8783,09	-220,97	77980,71
50	8699,95	-221,23	80191,75
60	8616,81	-221,49	82405,36
70	8533,67	-221,73	84621,47
Equação	9115,6 - 8,314.T	-219,96 - 0,0254.T	68744 + 221,35.T
R <sup>2</sup> (%)	99,99	99,98	99,99

A entalpia está relacionada com a energia necessária para remover a água ligada ao produto durante o processo de secagem, desta forma, a entalpia é reduzida com o aumento da temperatura de secagem (OLIVEIRA et al., 2010). Maior valor de entalpia em menores temperaturas significa maior quantidade de energia requerida para promover a secagem do mesocarpo do pequi.

A entropia é uma propriedade termodinâmica que pode ser associada ao grau de desordem entre a água e o produto (GONELI et al., 2010). A entropia aumentou (módulo) com o aumento da temperatura do ar de secagem, comportamento similar à secagem de outros produtos, como sementes de *Vigna subterranea* (L.) verdc. (JIDEANI & MPOTOKWANA, 2009). Este comportamento é esperado, pois a redução da temperatura de secagem diminui a excitação das moléculas de água do produto, aumentando a ordem do sistema água-produto (CORRÊA et al., 2010). Os valores negativos de entropia foram atribuídos à existência de adsorção química e/ou modificações estruturais do adsorvente (MOREIRA et al., 2008).

A energia livre de Gibbs está relacionada ao trabalho necessário para tornar os locais de sorção disponíveis (NKOLO MEZE'E et al., 2008). Verifica-se que a energia livre de Gibbs observada neste estudo foi positiva e aumentou com o incremento da temperatura de secagem. Este comportamento também foi observado por Corrêa et al. (2011) estudando as propriedades termodinâmicas da secagem em espigas de milho nas temperaturas de 45, 55 e 65 °C. Valor positivo para energia livre de Gibbs indica reação endógena, na qual é necessária adição de energia do ambiente para que ocorra a secagem do produto (NKOLO MEZE'E et al., 2008). Esse comportamento é esperado, uma vez que o processo de desorção não é espontâneo.

## 2.4 CONCLUSÃO

O aumento na temperatura do ar em estufa de circulação forçada promove redução no tempo de secagem do mesocarpo de pequi. Entre os modelos matemáticos de secagem estudados, o modelo de Midilli é o único que pode ser utilizado para representar satisfatoriamente a secagem nas temperaturas de 40 a 70°C.

Nestas condições, o coeficiente de difusão efetivo aumenta com a elevação da temperatura e a energia de ativação é de 11,387 kJ.mol<sup>-1</sup>. O aumento da temperatura do ar de secagem promove diminuição na entalpia e elevações na entropia e energia livre de Gibbs, de valores positivos.

## 2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC - Association of Agricultural Chemists. **Official methods of analysis of the Association of Agricultural Chemists**. 19 ed. Washington, 2012.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450p.
- CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D.M. Obtenção e modelagem das isotermas de dessorção e do calor isostérico de dessorção para grãos de trigo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.07, n.1, p.39-48, 2005.
- CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; BOTELHO, F.M.; GONELI, A.L.D.; CARVALHO, F.M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v.57, n.5, p.595-601, 2010.
- CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; GONELI, A.L. D.; RESENDE, O.; CAMPOS, S.C. Mathematical modeling of the drying process of corn ears. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, n.4, p.575-581, 2011.
- FIORENTIN, L.D.; MENON, B.T.; ALVES, J.A.; BARROS, S.T.D.; PEREIRA, N.C.; LIMA, O.C.M.; MODENES, A.N. Análise da secagem do bagaço de laranja em camada fina utilizando modelos semi-teóricos e empíricos. **Engevista**, v.14, n.1, p.22-33, 2012.
- GONELI, A.L.D.; CORREA, P.; OLIVEIRA, G.H.H.; BOTELHO, F.M. Water desorption and thermodynamic properties of okra seeds. **Transaction of the ASAE**, v.53, n.1, p.191-197, 2010.
- GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S.A. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.1, p.135-140, 2007.
- GUEDES, A.M.M.; FARIA, L.J.G. Determinação da constante de secagem de urucum (*Bixa orellana* L.) em secador convectivo de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.2, n.1, p.73-86, 2000.
- JIDEANI, V.A.; MPOTOKWANA, S.M. Modeling of water absorption of botswana bambara varieties using Peleg's equation. **Journal of Food Engineering**, v.92, n.2, p.182-188, 2009.
- KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.1, p.98-108, 2007.

- KAYA, K.; KAHYAOGU, T. Influence of dehulling and roasting process on the thermodynamics of moisture adsorption in sesame seed. **Journal of food engineering**, v.76, n.2, p.139-147, 2006.
- KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of the brazilian cerrado. **Conservation Biology**, v.19, n.3, p.707-713, 2005.
- KUROZAWA, L.E. **Efeito das condições de processo na cinética de secagem de cogumelo (*Agaricus blazei*)**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- MADAMBA, P.S. Thin layer drying models for osmotically pré-dried Young coconut. **Drying Technology**, v.21, n.9, p.1759-1780, 2003.
- MOREIRA, R.; CHENLO, F.; TORRES, M.D.; VALLEJO, N. Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. **Journal of Food Engineering**, v.88, n.4, p.514-521, 2008.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v.66, n.4, p.513-18, 2005.
- NKOLO MEZE'E, Y.N.; NOAH NGAMVENG, J.; BARDET, S. Effect of enthalpy-entropy compensation during sorption of water vapour in tropical woods: The case of bubinga (*Guibourtia tessmanii* J.L'Eonard; *G. Pellegriniana* J.L.). **Thermochimica Acta**, v.468, p.1-5, 2008.
- OLIVEIRA, D.E.C.; RESENDE, O.; CHAVES, T.H.; SOUSA, K.A.; SMANIOTTO, T.A.S. Propriedades termodinâmicas das sementes de pinhão-mansão. **Bioscience Journal (Online)**, v.30, n.1, p.147-157, 2014.
- OLIVEIRA, G.H.H.; CORRÊA, P.C.; ARAÚJO, E.F.; VALENTE, D.S.M.; BOTELHO, F.M. Desorption isotherms and thermodynamic properties of sweet corn cultivars (*Zea mays* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, v.45, n.3, p.546-554, 2010.
- PANCHARIYA, P.C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A.L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v.52, n.4, p.349-357, 2002.
- PARK, K.J.; BROD, F.P. **Secagem de produtos agrícolas**. Campinas: DPPPAG/FEAGRI/UNICAMP, 1998. 118 p.
- PARK, K.J.; MORENO, M.K.; BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pera Bartlett. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, n.3, p.288- 292, 2001.
- QUEIROZ, D.M.; PEREIRA, J.A.M.; MELO, E.C. **Modelos matemáticos de simulação de secagem de grãos**. Viçosa: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, 1995. 59p.
- RESENDE, OSVALDO; OLIVEIRA, D.E.C.; CHAVES, T.H.; BESSA, J.F.V. Kinetics and thermodynamic properties of the drying process of sorghum (*sorghum bicolor* L. Moench) grains. **African Journal of Agricultural Research**, v.9, n.32, p.2453-2462, 2014.
- ROESLER, R.; MALTA, L.G.; CARRASCO, L.C.; HOLANDA, R.B.; SOUSA, C.A.S.; PASTORE, G.M. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.1, p.53-60, 2007.
- SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.43, n.1, p.153-156, 2008.
- SANTOS, D.C.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F.; OLIVEIRA, E.N.A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.223-231, 2013.

- SILVA, R.M.; PLACIDO, G.R. OLIVEIRA, D.E.C.; SILVA, M.A.P.; CALIARI, M. Pequi pulp (*Caryocarp brasiliense* Cambess): drying kinetics and thermodynamic properties. **African Journal of Biotechnology**, v.13, n.33, p.3443-3449, 2014.
- STRUMILLO, C. Z.; KUDRA, T. **Drying: Principles, Applications and Design**. v. 3. New York: Gordon and Breach Science Publisher, 1986. 448 p.
- ULLMANN, R.; RESENDE, O.; CHAVES, T.H.; OLIVEIRA, D.E.C.; COSTA, L.M. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.1, p.64–69, 2015.
- VALENTE, P.P.S.S. **Desidratação osmótica e secagem de abacaxi (*Ananás comosus* (L.)merril), variedade pérola**. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- VERA, R., NAVES, R.V.; NASCIMENTO, J.L.; CHAVES, L.J.; LEANDRO, W.M.; SOUZA, E.R.B. Caracterização física de frutos do pequi ( *Caryocarp brasiliense* Camb.) no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.2, p.71-79, 2005.



## CAPÍTULO III

# PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, FUNCIONAIS E FÍSICAS DA FARINHA DO MESOCARPO DO PEQUI (*Caryocar brasiliense* Cambess)

### RESUMO

Este trabalho objetivou determinar a qualidade nutricional, funcional e físico-química da farinha do mesocarpo do pequi por diferentes métodos de secagem. O mesocarpo do pequi coletado em feira livre de Rio Verde, Goiás, Brasil foi sanitizado e submetido à secagem por liofilização e estufa de circulação de ar nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C. A farinha do mesocarpo do pequi (FMP) tem baixo teor de lipídios e elevados teores minerais (potássio, cobre, manganês e boro) e de fibra alimentar (44,53 g.100 g<sup>-1</sup>). A liofilização resulta em microestrutura porosa constituída de partículas finas (abaixo de 0,125 mm), resultando em menor massa específica aparente, maior volume de intumescimento e maiores índices de absorção (água, leite e óleo). A FMP liofilizada possui a maior relação sólidos solúveis/acidez, maior atividade antioxidante em decorrência do elevado teor fenólico e coloração em tom amarelo mais claro. O maior tempo de secagem a 40 °C e a maior temperatura de 70 °C resultam no escurecimento da farinha. Esta elevada temperatura também ocasiona desnaturação proteica, desorganização estrutural e maiores índices de solubilidade. Assim, a FMP é uma fonte funcional promissora pelo elevado teor da fibra alimentar, alta atividade antioxidante e com propriedades favoráveis para aplicação nos setores farmacêutico, alimentício e de nutrição animal.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de resíduos. Farinha funcional. Fibras alimentares. Atividade antioxidante. Propriedades de hidratação.

### ABSTRACT

This study aimed to determine the nutritional, functional, and physicochemical quality of mesocarp pequi flour by different drying methods. The mesocarp pequi was obtained in street market of Rio Verde City, Goiás State, Brazil; it was sanitized and submitted to freeze-drying and air-circulation oven drying at 40, 50, 60, and 70 °C. The mesocarp pequi flour (MPF) has a low content of lipids and high mineral content (potassium, copper, manganese, and boron) and dietary fiber (44.53 g.100 g<sup>-1</sup>). Freeze-drying results in porous microstructure composed by fine particles (less than 0.125 mm), resulting in a lower bulk density, higher swelling volume, and higher absorption rates (water, milk, and oil). The freeze-dried MPF has the highest soluble solids/acidity rate, higher antioxidant activity, due to the greatest phenolic content, and clearer yellow color. The longer drying period at 40 °C and the higher temperature of 70 °C affect the flour darkening. Also, this high temperature results in protein denaturation and structural disorganization, besides higher solubility rates. Thus, the MPF is a promising functional source due to the high content of dietary fiber, high antioxidant activity, and favorable properties for application to industry sectors of pharmaceuticals, alimentary, and animal nutrition.

**Keywords:** Residues recovery. Functional flour. Dietary fibers. Antioxidant activity. Moisturizing properties.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O pequi (*Caryocar* spp.) destaca-se pela produção de frutos oleaginosos no Cerrado e em algumas regiões do Norte e Nordeste do Brasil, sendo uma importante fonte de renda para a agricultura familiar por meio da coleta, beneficiamento e comercialização dos frutos (MEDAETS et al., 2006).

O pequi é explorado economicamente para consumo *in natura*, na culinária regional, e produtos derivados como óleo, sucos, sorvetes, licores, geleias e amêndoa torrada. Entretanto, a produção está limitada às áreas nativas, e o fruto, bastante perecível, não está disponível em todo o Brasil (MACHADO et al., 2013).

A casca, formada pelo epicarpo e mesocarpo, geralmente é descartada durante a comercialização do pequi, porém tem grande potencial para beneficiamento, representando cerca de 70% a 80% da massa úmida do fruto (BARBOSA & AMANTE, 2002).

Este coproduto pode ser aproveitado como alimento funcional pela atividade antioxidante dos compostos retinol, ácido ascórbico, carotenoides e, marjoritariamente, compostos fenólicos, que incluem fenóis simples, ácidos fenólicos (derivados de ácidos benzoico e cinâmico), cumarinas, flavonoides, estilbenos, taninos condensados e hidrolisáveis, lignanas e ligninas (NACZK & SHAHIDIB, 2004). Ainda tem ação prebiótica pelo elevado teor de fibras (BARBOSA & AMANTE, 2002).

A atividade antioxidante de compostos fenólicos deve-se à propriedade redutora da estrutura química, importante na neutralização ou sequestro de radicais livres e quelação de metais de transição (CHUN et al., 2005). Além desta propriedade biológica, os fenólicos apresentam atividades antibacteriana, anti-inflamatória e antialérgica (HEO et al., 2006) e também contribuem com a cor, adstringência, odor e estabilidade oxidativa nos alimentos (NACZK & SHAHIDIB, 2004).

As interações entre diferentes compostos fenólicos podem apresentar efeitos sinérgicos, antagônicos ou aditivos (HEO et al., 2007). O sinergismo proveniente de fenólicos de fontes naturais pode ter efeito mais potente do que um ou dois antioxidantes sintéticos combinados (ABDALLA et al., 2007).

Pesquisas apontam o uso da farinha da casca do pequi como ração animal (LIMA et al., 2012; GERASEEV et al., 2011; BONFÁ et al., 2009; PESSOA et al., 2009). Em situações em que o estoque de forrageiras está deficiente ou o custo de

produção está elevado, é mais econômico o uso de subprodutos com alto teor de fibra, resíduos da agroindústria (RODRIGUES, 1998).

Como ração animal, existem duas variáveis de grande importância, que afetam a atividade mastigatória e a conversão alimentar: a FDN (fibra solúvel em detergente neutro) e a forma física (MERTENS et al., 1994). A efetividade da fibra, capacidade em promover a atividade motora no trato gastro-intestinal, também é determinada pelo tamanho da partícula: partículas longas proporcionam o estímulo necessário para vários ciclos de ruminação, enquanto partículas reduzidas são insuficientes para promover boa fermentação, com prejuízos à produção animal (MACEDO JÚNIOR et al., 2007).

Existem também estudos sobre o aproveitamento da farinha da casca de pequi para a alimentação humana, como enriquecimento de bolos (ALVES et al., 2007), pães (COUTO et al., 2006; FREITAS et al., 2008), cookies (SOARES JÚNIOR et al., 2009), geléia (SIQUEIRA et al., 2012) e linguiça (MONTEIRO et al., 2014).

A utilização de farinha em produtos alimentícios requer o conhecimento das propriedades de hidratação, as quais descrevem como as macromoléculas (fibras, proteínas e carboidratos) se combinam com a água, leite ou óleo, nos diferentes sistemas alimentares (CHOU & MORR, 1979).

O índice de absorção de água indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amido de uma determinada amostra submetida a um tratamento térmico, sendo uma alta capacidade de absorção desejável para o preparo de sopas, mingaus e pudins instantâneos (TORRES et al., 2005).

O índice de solubilidade em água é um parâmetro que reflete a degradação sofrida pelos constituintes da fibra, ou seja, o somatório dos efeitos de gelatinização, dextrinização e, conseqüentemente, solubilização (GUTKOSKY, 1997). A solubilidade tem efeito na funcionalidade da fibra e, principalmente, na estabilidade da viscosidade (GUILLON & CHAMP, 2000).

Entretanto, sabe-se que muitos nutrientes, compostos bioativos e pigmentos são sensíveis ao processamento e tratamento térmico (LEONID et al., 2006). A secagem em temperaturas elevadas pode aumentar a biodisponibilidade de nutrientes pela quebra de ligações químicas, pode ocasionar a gelatinização de amido, o que o torna mais digerível, pode degradar carotenoides (MACHADO et al., 2013), desnaturar proteínas e inativar enzimas (BRAVO, 1998), além de inativar inibidores enzimáticos e fatores antinutricionais, como os fitatos (MAGA, 1982).

Outro método de secagem é a liofilização, pela sublimação da água do alimento sob pressão subatmosférica (ARÉVALO-PINEDO & MURR, 2006). Nela, as características sensoriais e nutricionais são preservadas e não ocorre oxidação lipídica e de pigmentos pela ausência do contato com o ar (WU et al., 2007). A secagem por circulação de ar forçada pode afetar características físicas e microestruturais, de acordo com a transferência da massa de água e de calor (HIRANVARACHAT et al., 2012).

Diante do exposto, objetivou-se determinar a influência de diferentes processos de secagem, por liofilização e em estufa de circulação forçada de ar, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, sobre as características nutricionais, funcionais e físico-químicas da farinha do mesocarpo do pequi.

## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Obtenção do Mesocarpo do Pequi**

Os resíduos dos frutos de pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) foram obtidos na feira livre do município de Rio Verde, estado de Goiás, Brasil, provenientes da safra de 2015 da região norte de Minas Gerais. Foram acondicionados em sacarias e encaminhados ao Laboratório de Frutas e Hortaliças do Instituto Federal Goiano - Câmpus Rio Verde, para seleção daqueles com aspecto visual satisfatório, sem danos visíveis, injúrias mecânicas ou contaminação microbiológica aparente.

Os resíduos (drupa com exceção do putâmen) foram descascados manualmente com facas de aço inox, previamente sanitizadas, separando as frações fisiológicas do epicarpo e mesocarpo externo. O mesocarpo foi submetido à imersão em solução de hipoclorito de sódio 0,015% por 15 minutos (sanitização), seguida de imersão em bissulfito de sódio 0,25% por 2 minutos (inibição do escurecimento enzimático pela polifenoloxidase) e subsequente enxágue em água corrente. O mesocarpo foi fracionado em pedaços menores, acondicionado em embalagens de polietileno e mantido sob congelamento em freezer a -20 °C (Metalfrio®/DA-550) até a realização das análises.

### **3.2.2 Obtenção da Farinha do Mesocarpo do Pequi**

O mesocarpo de pequi foi descongelado em temperatura ambiente e, posteriormente, submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar

(Marconi<sup>®</sup>/MA 035), nas temperaturas de 40 °C ( $\pm 1,13$  °C por 16,83 horas) 50 °C ( $\pm 0,55$  °C por 13,83 horas), 60 °C ( $\pm 0,65$  °C por 13,33 horas) e 70°C ( $\pm 1,21$  °C por 9,67 horas), com umidade relativa interna de, respectivamente, 19,8%, 11,8%, 7,3% e 4,7% e velocidade do ar de  $2,81 \pm 0,34$  m.s<sup>-1</sup>.

O resíduo foi depositado em três bandejas com malha de nylon que permitia o fluxo de ar, em distribuição homogênea. As bandejas foram pesadas sucessivamente até obtenção de massa constante, indicativa de o teor de água de equilíbrio ter sido atingido.

Também foi realizada secagem por sublimação, ou seja, liofilização. O mesocarpo do pequi foi previamente congelado em ultrafreezer a -80 °C (Terroni<sup>®</sup>), seguido do processo de secagem em liofilizador (Terroni<sup>®</sup>/Enterprise II), com ponto final obtido após 130 horas de trabalho e queda do vácuo para 292 mmHg.

O mesocarpo seco em estufa foi triturado em moinho de rotor tipo ciclone (Fortinox<sup>®</sup>/Star FT 51) com abertura da malha de 1 mm de diâmetro. O mesocarpo liofilizado foi triturado em gral e pistilo até obtenção de aspecto homogêneo. O produto farináceo obtido da moagem seca foi denominado de farinha do mesocarpo do pequi (FMP). A FMP foi embalada em sacos de polietileno de baixa densidade, identificada e mantida sob abrigo de luz, calor e umidade até a realização das análises.

### 3.2.3 Composição Centesimal

O teor de água foi determinado segundo método gravimétrico, em estufa de circulação forçada de ar (Marconi<sup>®</sup>/MA-035), a 130 °C, por duas horas, método n° 925.09 (AOAC, 2012). O resultado foi expresso em g.100 g<sup>-1</sup>. O teor de matéria seca foi calculado pela diferença centesimal do teor de água, expresso em g.100 g<sup>-1</sup>.

As cinzas (matéria mineral) foram determinadas pelo método gravimétrico de incineração em mufla (Quimis<sup>®</sup>/Q318S), a 550 °C, por 5 horas, conforme método n° 923.03 (AOAC, 2012). O resultado foi expresso em g.100 g<sup>-1</sup> de matéria seca.

O teor de proteína bruta foi determinado segundo método quantitativo n° 920.87 em destilador micro-Kjeldahl (Tecnal<sup>®</sup>/TE-0363), a partir do teor de nitrogênio total, com fator de conversão de 5,75 para proteínas vegetais (AOAC, 2012; GREENFIELD & SOUTHGATE, 2003). O resultado foi expresso em g.100 g<sup>-1</sup> de matéria seca.

Para a determinação do extrato etéreo, utilizou-se a metodologia de extração contínua em aparelho tipo Soxhlet, com uso de solvente orgânico hexano P.A., durante

o período de 8 horas de extração, segundo método n° 925.38 (AOAC, 2012). O resultado foi expresso em  $\text{g.100g}^{-1}$  de matéria seca.

Os carboidratos totais foram calculados pelo método da diferença da composição centesimal, subtraindo de 100% os teores de cinzas, proteína bruta e extrato etéreo, expresso em  $\text{g.100 g}^{-1}$  de matéria seca (SNIFFEN et al., 1992; FAO, 2003).

A partir da determinação da composição centesimal, foi estimado o valor energético total, considerando-se os fatores de conversão de Atwater, respectivamente 4, 4 e 9  $\text{Kcal.g}^{-1}$  para proteína, carboidratos e lipídios (OSBORNE & VOOGT, 1978). Os resultados foram expressos em  $\text{Kcal.100 g}^{-1}$  e  $\text{KJ.100 g}^{-1}$  de matéria seca.

A análise de fibra alimentar foi realizada pelo método n° 985.29 enzimático-gravimétrico, com enzimas amilase, protease e amiloglucosidade, tendo a fração de fibra solúvel na fase aquosa e fibra insolúvel no precipitado, e a somatória caracteriza fibra alimentar total (AOAC, 2012). O resultado foi expresso em  $\text{g.100 g}^{-1}$  de matéria seca.

A fração glicídica (glicídios ou carboidratos metabolizáveis) foi calculada pelo método da diferença da composição centesimal, subtraindo de 100% os teores de cinzas, proteína bruta, extrato etéreo e fibra alimentar total, tendo sido expressa em  $\text{g.100 g}^{-1}$  de matéria seca (AOAC, 2012).

Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram determinados pelo método de Van Soest (SILVA & QUEIROZ, 2006).

O perfil mineral foi descrito quanto aos macro e micronutrientes pelo método de digestão ácida nitro-perclórica n° 965.9 (AOAC, 2012; MALAVOLTA et al., 1997). Teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram analisados em espectrofotômetro de absorção atômica (GBC<sup>®</sup>). As leituras de B, S e P foram feitas em espectrofotômetro ultravioleta visível (BEL<sup>®</sup>) e de K em fotômetro de chama (B462/Micronal<sup>®</sup>).

#### **3.2.4 Análises Físico-Químicas**

O pH (potencial hidrogeniônico) foi aferido em peagâmetro digital de bancada (ION<sup>®</sup>/PHB-500) com compensação de temperatura, previamente calibrado em soluções tamponantes de pH 4,0 e 7,0, pela imersão do eletrodo em solução aquosa da FMP (1:10), após dez minutos de agitação em agitador magnético (Biomixer<sup>®</sup>/78 HW-1) (AOAC, 2012).

A acidez da FMP foi determinada por titulação potenciométrica, a partir da solução previamente preparada para análise de pH. Procedeu-se à titulação ácido-alcalimétrica com a base NaOH 0,1N e indicador fenolftaleína 1% até pH 8,3. O resultado foi corrigido para equivalente-grama de ácido cítrico (64,02) e expresso em miliequivalente do ácido orgânico por 100 g (CECCHI, 2003).

O teor de sólidos solúveis foi determinado por refratômetro digital Krüss Optronic<sup>®</sup>/DR 301-95) após diluição prévia da FMP em água destilada na proporção 1:100. Após a leitura do filtrado, foi efetuada a correção pelo fator de multiplicação 100, o resultado foi expresso em °Brix (IAL, 2005).

A classificação granulométrica foi feita por um tamisador vibratório eletromagnético (BERTEL<sup>®</sup>), composto por quatro peneiras com aberturas de diferentes diâmetros: 1,00 mm (16 *mesh*, ABNT 18), 0,50 mm (32 *mesh*, ABNT 35); 0,25 mm (60 *mesh*, ABNT 60) e 0,125 mm (115 *mesh*, ABNT 120) e o fundo. Para cada Tratamento, 100 g de farinha foram submetidas à tamisação por 15 minutos, e a quantidade de amostra em cada tamis foi pesada e calculadas a frequência retida e a frequência acumulada, expressas em porcentagem (PERRY & CHILTON, 1973).

A massa específica aparente (densidade) foi determinada pelo ensaio da proveta, por meio da relação entre a massa e a leitura direta do volume ocupado, expressa em g.mL<sup>-1</sup> (AACC, 2000).

### 3.2.5 Propriedades de Hidratação

As propriedades de hidratação da FMP foram analisadas quanto ao volume de intumescimento (VI), índice de absorção em água (IAA), em leite (IAL) e em óleo (IAO), e os índices de solubilidade em água (ISA) e em leite (ISL) foram determinados segundo Anderson et al. (1969), com adaptações.

Tubos cônicos tipo falcon adicionados da FMP e o solvente respectivo, na proporção 1:10, foram agitados manualmente e depois centrifugados a 3.000 rpm por 40 minutos. O líquido sobrenadante foi transferido para cadinhos de alumínio e evaporado em estufa a 105°C até massa constante. Os índices de absorção foram determinados pela relação entre a massa do gel remanescente do tubo e a massa inicial da amostra seca (g.g<sup>-1</sup>), e os índices de solubilidade, pela relação entre a massa do resíduo da evaporação pela massa inicial da amostra seca (g.100 g<sup>-1</sup>).

O volume de intumescimento foi determinado por centrifugação de uma solução 1:30, seguida de repouso por 15 horas para completa decantação e a leitura, pela diferença do volume intumescido em tubo graduado, expresso em mL.g<sup>-1</sup>.

### 3.2.6 Atividade Antioxidante Total e Fenólicos Totais

A avaliação da atividade antioxidante total ocorreu segundo o método da captura do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) (BRAND-WILLIAMS et al., 1995). A extração ocorreu com uma mistura dos solventes orgânicos, metanol 50% e acetona 70%, na proporção de 3:2. A leitura da absorbância das diluições seriadas foi feita em espectrofotômetro (BEL<sup>®</sup>/ Spectro S-2.000), a 515 nm, no tempo de estabilização previamente definido em 60 minutos.

A concentração da solução versus absorbância foi plotada em um gráfico e, a partir de regressão linear, foram determinadas as equações da reta. O valor do EC<sub>50</sub> (concentração inibitória, concentração eficiente ou equivalente controle) foi calculado substituindo a leitura de 50% da absorbância inicial do radical DPPH. A atividade antioxidante (antiradicalar ou sequestradora de radicais livres) foi expressa como porcentagem de inibição, calculada conforme Equação 1:

$$AAT = 100 \times (Abs_{controle} - Abs_{amostra}) / Abs_{controle} \quad (1)$$

Em que:

AAT = Atividade antioxidante total (%);

Abs<sub>controle</sub> = Absorbância do controle; e

Abs<sub>amostra</sub> = Absorbância da amostra.

A determinação do teor de fenólicos totais presentes no extrato etanólico da FMP foi feita por meio de espectrofotômetro na região visível (Spectro S-2.000/BEL<sup>®</sup>), a 750 nm, utilizando o método de Folin-Ciocalteu (SINGLETON et al., 1999).

### 3.2.7 Coordenadas Colorimétricas

A cor foi avaliada instrumentalmente em equipamento eletrônico colorímetro (ColorFlex EZ/HunterLab<sup>®</sup>), ajustado para o iluminante D65 (luz do dia) e ângulo de observação 10°, com prévia calibração, segundo método n° 14-22 conforme sistema CIE L\*a\*b\* (AACC, 2000; CIE, 1996).



Foram determinadas no espaço colorimétrico as coordenadas retangulares: L\*, referente à luminosidade do preto (0) ao branco (+100); a\*, cromaticidade do verde (-80) ao vermelho (+100); e b\*, cromaticidade do azul (-50) ao amarelo (+70). Também foram determinadas as coordenadas cilíndricas, segundo modelo HSB: saturação da cor Chroma (Equação 2), tonalidade cromática Hue (Equação 3) e a variação total da cor  $\Delta E$  (Equação 4) (ABNT, 1992).

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3)$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^* + \Delta a^* + \Delta b^*} \quad (4)$$

Em que:

C\*: Chroma (adimensional);

a\*: Cromaticidade verde-vermelho (adimensional);

b\*: Cromaticidade azul-amarelo (adimensional);

h: Hue (°);

$\Delta E$ : Variação total da cor (adimensional); e

L\*: luminosidade (adimensional);

### 3.2.8 Microscopia Eletrônica de Varredura

A análise microestrutural foi feita no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução da Universidade Federal de Goiás, com microscópio eletrônico de varredura eletrônica (JSM-6610/ Jeol<sup>®</sup>), equipado com EDS, ThermoScientific NSS SpectralImaging. As amostras de FMP foram previamente desengorduradas por extração em Soxhlet, método n° 1.122 (IUPAC, 1979), 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 tensão de aceleração de 5 kV por um filamento de tungstênio. As micrografias foram realizadas com aumentos de 500x e 1.000x.

### 3.2.9 Espectroscopia no Infravermelho Próximo

Foi realizada espectroscopia no infravermelho próximo por meio de um espectrofotômetro (Frontier/PerkinElmer®) com varredura de 500 cm<sup>-1</sup> a 4000 cm<sup>-1</sup>, por leitura direta da FMP.

### 3.2.10 Análises Estatísticas

Foram constituídos os Tratamentos 1 - FMP liofilizada, 2 - FMP seca a 40 °C, 3 - FMP seca a 50 °C, 4 - FMP seca a 60 °C e 5 - FMP seca a 70 °C.

Todas as análises da composição centesimal, valor energético total, pH, acidez titulável, massa específica aparente, das propriedades de hidratação, atividade antioxidante e fenólicos totais foram realizadas em nove repetições. As análises do extrato etéreo e do perfil mineral foram realizadas em triplicata. Os ensaios de fibra alimentar foram feitos em duplicata.

Foram avaliadas em delineamento inteiramente casualizado, por análise de variância e teste de médias Tukey a 5% de significância, utilizando software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

Os teores de FDN e FDA foram apresentados em estatística descritiva. A distribuição granulométrica foi apresentada por gráfico histograma com a frequência relativa retida e curvas de distribuição granulométrica da frequência acumulada. A atividade antioxidante também foi representada por curvas de regressão linear, avaliando o coeficiente de determinação para melhor ajuste aos dados. A espectroscopia de infravermelho próximo foi feita em triplicata, e os dados médios, apresentados em gráfico, pelo programa Origin®.

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1 Composição Centesimal

O teor de água final da FMP (TABELA 3.1), obtido em todos os métodos de secagem, ficou dentro do limite máximo de 15 g.100 g<sup>-1</sup> permitido para farinhas pela RDC n°263/2005/ANVISA (BRASIL, 2005). A farinha do mesocarpo de pequi liofilizada obteve teor de água inferior ao valor máximo permitido de 5g.100 g<sup>-1</sup> para produtos liofilizados de frutas (BRASIL, 1978).

**TABELA 3.1.** Valores médios e desvio padrão do teor de água, matéria seca e cinzas,

em base seca, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

<b>FMP</b>	<b>Teor de água (g.100 g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Matéria seca (g.100 g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Cinzas (g.100 g<sup>-1</sup>)</b>
Liofilizada	2,95±0,31c	97,05±0,31a	2,43±0,15a
Seca a 40 °C	14,38±0,82a	85,62±0,82c	2,47±0,06a
Seca a 50 °C	11,62±1,50b	88,38±1,50b	2,49±0,11a
Seca a 60 °C	11,04±0,77b	88,96±0,77b	2,40±0,25a
Seca a 70 °C	11,42±1,95b	88,58±1,95b	2,46±0,15a
<b>CV (%)</b>	<b>11,56</b>	<b>1,46</b>	<b>6,46</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Em contrapartida, A FMP obtida por secagem a 40 °C apresentou o maior teor de água (14,38 g.100 g<sup>-1</sup>). Os teores observados estão de acordo com os encontrados na literatura, de 10,32 g.100 g<sup>-1</sup> para a farinha da casca do pequi secas a 55 °C (PESSOA et al., 2009) e de 2,8 g.100g<sup>-1</sup> para farinha de manga liofilizada (ZOTARELLI, 2014).

A matéria seca, por definição, é inversamente proporcional ao teor de água. O teor de água está intrinsecamente relacionado aos métodos de processamento e tem grande importância pela influência na estabilidade durante o *shelf life* do produto; níveis maiores que 13 g.100g<sup>-1</sup> podem proporcionar crescimento microbiano e deterioração enzimática em espaço menor de tempo (CHISTÉ et al., 2006).

O teor de cinzas (TABELA 3.1) não diferiu ( $p>0,05$ ) entre os Tratamentos, como era esperado, apresentando média de 2,45 g.100 g<sup>-1</sup>. Este valor foi inferior ao da farinha da casca de uva, de 3,20 g.100 g<sup>-1</sup>, da casca de maracujá, de 7,80 g.100 g<sup>-1</sup>, e superior ao do bagaço de maçã, de 1,80 g.100 g<sup>-1</sup> (GONÇALVES et al., 2013).

Trabalhos de outros autores reportaram para a farinha da casca de pequi (FCP) teores de cinzas de 3,03 g.100 g<sup>-1</sup> (LIMA et al., 2012) e 3,35 g.100 g<sup>-1</sup> (PESSOA et al., 2013) Os teores mais elevados são atribuídos à presença da fração fisiológica epicarpo além do mesocarpo externo na formulação desta farinha. Para a FMP, foram reportados teores variados de 2,86 g.100 g<sup>-1</sup> (SOARES JÚNIOR et al., 2010) e de 2,09 g.100 g<sup>-1</sup> (SIQUEIRA et al., 2013).

Os teores de proteína bruta (TABELA 3.2) da FMP obtida por secagem na temperatura de 70 °C diferiram ( $p<0,05$ ) das demais (de 2,13 para 2,80 g.100 g<sup>-1</sup>). O menor teor proteico nesta temperatura deve-se, possivelmente, ao fato de ter ocorrido complexação do nitrogênio com outros compostos e/ou desnaturação proteica.

**TABELA 3.2.** Valores médios e desvio padrão de proteína bruta, extrato etéreo e carboidratos totais, em base seca, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

<b>FMP</b>	<b>Proteína (g.100 g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Extrato Etéreo (g.100 g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Carboidratos (g.100 g<sup>-1</sup>)</b>
Liofilizada	2,69±0,20a	1,78±0,60a	93,02±0,71a
Seca a 40 °C	2,85±0,28a	1,28±0,05a	93,41±0,39a
Seca a 50 °C	2,78±0,27a	1,24±0,20a	93,49±0,31a
Seca a 60 °C	2,86±0,19a	1,60±0,26a	93,15±0,45a
Seca a 70 °C	2,13±0,18b	1,30±0,24a	94,10±0,37a
<b>CV (%)</b>	<b>8,74</b>	<b>22,45</b>	<b>0,50</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Temperaturas acima de 55 °C favorecem a ocorrência de reações não enzimáticas, principalmente a partir de 70 °C, quando inicia o escurecimento não enzimático (reação de Maillard) envolvendo carboidratos redutores e aminoácidos (MOSER et al., 1995). Os produtos desta reação promovem diminuição acentuada na digestibilidade da proteína para animais, ocorrendo aumento considerável nos teores de NIDA (nitrogênio insolúvel em detergente ácido), que não é disponível para os micro-organismos do rúmen (MOSER, 1980).

O valor diário de referência de nutrientes (VDR) para proteínas é de 75 g, sendo assim, as FMP liofilizada e secas até 60 °C representam 3,73% do VDR (2,80 g.100 g<sup>-1</sup>) e seca em 70 °C representa 2,84% (2,13 g.100 g<sup>-1</sup>) (BRASIL, 2003). Estes valores estão de acordo com outros estudos, com teores de 2,03 g.100 g<sup>-1</sup> para FCP (LIMA et al., 2012) e de 2,65 g.100 g<sup>-1</sup> para FMP (SIQUEIRA et al., 2013).

Quanto aos teores de extrato etéreo e carboidratos totais (TABELA 3.2), não houve diferença significativa ( $p>0,05$ ) entre os métodos de secagem da FMP, tendo sido os valores médios, respectivamente, de 1,44 g.100 g<sup>-1</sup> (2,88% VDR) e de 93,43 g.100 g<sup>-1</sup> (31,14% VDR).

Valores similares de lipídios e carboidratos da FMP foram encontrados, respectivamente, por Soares Júnior et al. (2010), de 0,85 g.100 g<sup>-1</sup> e 90,70 g.100 g<sup>-1</sup>, e por Siqueira et al. (2013), de 1,32 g.100 g<sup>-1</sup> e de 93,94 g.100 g<sup>-1</sup>.

Os diferentes valores na composição centesimal para o mesmo produto são atribuídos a diferenças metodológicas de análise, mas, principalmente, a diferenças ambientais do pequizeiro.

Assim, a FMP apresenta-se como excelente fonte de carboidratos, com intermediário teor proteico e pobre em lipídios. Os lipídios podem promover tecnologicamente, dependendo de sua quantidade e composição, deterioração na qualidade do alimento durante a estocagem por oxidação, produzindo odor e sabor de ranço (SGARBIERI, 1987).

### 3.3.2 Valor Energético, Fibras e Perfil Mineral

O valor energético total da FMP (TABELA 3.3) não variou entre os Tratamentos devido à pequena diferença na composição centesimal. Cem gramas da FMP tem 396,42 Kcal (1659,72 KJ), 19,82% das necessidades calóricas diárias de um indivíduo adulto. Valor similar de 398,24 Kcal já foi relatado para este produto (SIQUEIRA et al., 2013). Desta forma, a FMP pode ser considerada boa fonte energética.

**TABELA 3.3.** Valores médios e desvio padrão do valor energético total da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 °C.

FMP	Valor energético total (VET)	
	Kcal.100 g <sup>-1</sup>	KJ.100 g <sup>-1</sup>
Liofilizada	397,98±2,99a	1666,25±12,50a
Seca a 40 °C	395,52±0,22a	1655,95±0,93a
Seca a 50 °C	395,23±1,29a	1654,76±5,41a
Seca a 60 °C	397,41±0,98a	1663,88±4,09a
Seca a 70 °C	395,95±0,69a	1657,76±2,90a
<b>CV (%)</b>	<b>0,39</b>	<b>0,39</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Outros subprodutos agroindustriais também apresentam valor energético semelhante: 330,07 Kcal.100 g<sup>-1</sup> para farinha de inhame (ANDRADE et al., 2015), 343,04 Kcal.100 g<sup>-1</sup> para farinha da casca de lichia (QUEIROZ et al., 2015), 266,65 Kcal.100 g<sup>-1</sup> para resíduo de goiaba, 332,53 Kcal.100 g<sup>-1</sup> para resíduo de acerola, 314,17 Kcal.100 g<sup>-1</sup> de umbu e 254,36 Kcal.100 g<sup>-1</sup> de maracujá (ABUD & NARAIN, 2009).

Os teores de fibras alimentares solúvel (12,96 g.100 g<sup>-1</sup>) e total (44,53 g.100 g<sup>-1</sup>) não diferiram conforme o método de processamento. Em exceção, o teor de fibra alimentar insolúvel da FMP seca em 50 °C foi maior do que em 40 °C (TABELA 3.4)

**TABELA 3.4.** Valores médios e desvio padrão de fibra alimentar solúvel (FAS), fibra alimentar insolúvel (FAI) e fibra alimentar total (FAT), em base seca, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

<b>FMP</b>	<b>FAS (g.100 g<sup>-1</sup>)</b>	<b>FAI (g.100 g<sup>-1</sup>)</b>	<b>FAT (g.100 g<sup>-1</sup>)</b>
Liofilizada	13,30±2,12a	31,27±0,01ab	44,57±2,13a
Seca a 40 °C	12,90±2,67a	28,93±0,69b	41,83±1,98a
Seca a 50 °C	12,71±3,47a	32,72±1,65a	45,43±1,82a
Seca a 60 °C	12,92±0,44a	31,04±0,51ab	43,96±0,08a
Seca a 70 °C	14,62±3,39a	32,25±0,75ab	46,87±2,64a
<b>CV (%)</b>	<b>20,00</b>	<b>2,87</b>	<b>4,35</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: Coeficiente de variação.

Os alimentos são classificados segundo o teor de fibras em: muito alto (mínimo 7 g fibras.100 g<sup>-1</sup>), alto (4,5 a 6,9 g fibras.100 g<sup>-1</sup>), moderado (2,4 a 4,4 g fibras.100 g<sup>-1</sup>) e baixo (inferior a 2,4 g fibras.100 g<sup>-1</sup>) (MATTOS & MARTINS, 2000).

A FMP apresentou teor muito alto de fibras, comparável ao de grãos, como farelo de trigo, com FAS 3,77 g.100 g<sup>-1</sup>, FAI de 44,79 g.100 g<sup>-1</sup> e FAT de 48,16 g.100 g<sup>-1</sup> (LEÃO, 2013). O autor também identificou valores semelhantes para as fibras de farinha do mesocarpo do pequi, com FAS de 9,66 g.100 g<sup>-1</sup>, FAI de 29,7 g.100 g<sup>-1</sup> e FAT de 40,4 g.100 g<sup>-1</sup>. O teor de fibra neste produto é superior ao encontrada no fubá integral (1,2 g.100 g<sup>-1</sup>) e na farinha de soja integral (3,3 g.100 g<sup>-1</sup>) (BARBOSA & AMANTE, 2002).

O elevado teor de fibra alimentar encontrado na FMP a destaca como excelente fonte para enriquecimento de alimentos, pois tem 178,12% da VDR (25 g) e para alegação da propriedade funcional, basta a inclusão de 3 g de fibras por porção de alimento sólido ou 1,5 g de fibras para líquidos (BRASIL, 2003; BRASIL, 2002; BRASIL, 1999).

Além da importância biológica dos alimentos ricos em fibras, existe o aproveitamento tecnológico das frações. As fibras solúveis se relacionam com a capacidade de formação de géis (pectina, gomas, mucilagens, inulina e frutoligossacarídeos - FOS) e as insolúveis estão relacionadas com a absorção de água, entre elas, celulose, hemicelulose, lignina e amido resistente (RIBEIRO, 2014).

A relação de 70,7:29,3 entre fibra insolúvel e fibra solúvel da FMP está dentro do esperado para obtenção dos efeitos fisiológicos benéficos, uma proporção de 70:30 (SHNEEMAN, 1987).

A fração glicídica (FG) foi maior na FMP seca a 40 °C do que a 50 e 70 °C, e variou de 47,23 g.100 g<sup>-1</sup> a 51,58 g.100 g<sup>-1</sup> (TABELA 3.5).

**TABELA 3.5.** Valores médios e desvio padrão da fração glicídica (FG), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), em base seca, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

FMP	FG (g.100 g <sup>-1</sup> )	FDN (g.100 g <sup>-1</sup> )	FDA (g.100 g <sup>-1</sup> )
Liofilizada	48,45±0,84ab	17,91	16,76
Seca a 40 °C	51,58±1,62a	17,08	15,83
Seca a 50 °C	48,06±1,00b	16,33	14,24
Seca a 60 °C	49,19±0,50ab	18,09	16,63
Seca a 70 °C	47,23±1,80b	19,91	16,20
<b>CV (%)</b>	<b>2,56</b>	<b>---</b>	<b>---</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: Coeficiente de variação.

A fração glicídica representa o teor de carboidratos totais subtraído do teor de fibras, ou seja, é o extrato não nitrogenado, que compreende os carboidratos mais digeríveis, sendo que valores menores tanto podem indicar baixo teor de carboidratos totais como elevado teor de fibra alimentar total (VILAS BOAS, 1999).

Na literatura são encontrados valores bastante variáveis para o mesmo produto: 68,98 g.100 g<sup>-1</sup> (PESSOA et al., 2013), 34,27 g.100 g<sup>-1</sup> (SIQUEIRA et al., 2013) e 11,57 g.100 g<sup>-1</sup> (SOARES JÚNIOR et al., 2010).

Para comparação com outros coprodutos, a farinha da casca de batata tem teor mais elevado, de 88,16 g.100 g<sup>-1</sup> (FERNANDES et al., 2008), e a farinha da casca de maracujá tem menor teor, de 14,17 g.100 g<sup>-1</sup> (CAZARIN et al., 2014).

Os teores de FDN e FDA, avaliados descritivamente, não apresentaram grandes diferenças entre os Tratamentos (TABELA 3.5). Os valores médios apresentados para a FMP foram de 17,86 g.100 g<sup>-1</sup> para FDN e de 15,93 g.100 g<sup>-1</sup> para FDA.

Existem valores superiores encontrados na literatura para farinha da casca de pequi, com teores de FDN de 41,90 g.100 g<sup>-1</sup> e de FDA 36,05 g.100 g<sup>-1</sup> (LIMA et al., 2012), tendo outro estudo apresentado FDN de 33,88 g.100 g<sup>-1</sup> e FDA de 21,36 g.100 g<sup>-1</sup> (GERASEEV et al., 2011). Isto ocorre em razão da farinha da casca de pequi ter sido elaborada com o mesocarpo externo e o epicarpo do fruto, também chamado de pericarpo. Essa fração fisiológica tem maior concentração dos carboidratos estruturais, relativos à parede celular.

A FDN isola celulose, lignina hemicelulose e a FDA, celulose e lignina, sendo assim, a hemicelulose pode ser estimada indiretamente, de forma aproximada, pela diferença entre FDN e FDA (MACEDO JÚNIOR et al., 2007). Sendo assim, o teor médio estimado de hemicelulose foi de 1,93 g.100 g<sup>-1</sup> para a FMP, valor inferior ao encontrado para a FCP, formada por epicarpo e mesocarpo, de 5,8 g.100 g<sup>-1</sup> (LIMA et al., 2012).

Elevados teores de fibra alimentar total (fibra bruta) e FDN, se considerados isoladamente, poderiam classificar a farinha da casca de pequi como alimento volumoso para animais (GERASEEV et al., 2011). Segundo os autores, neste subproduto há maior degradabilidade ruminal da matéria seca e FDN, porém, menor degradabilidade da proteína bruta, possivelmente reflexo da baixa concentração de parede celular na FCP, permitindo maior aproveitamento por micro-organismos ruminais.

Existem variações na composição nutricional da FMP comparativamente a outros estudos, por vários fatores: diferenças na variedade do fruto, localidade da coleta, influência climática, do solo, do cultivo, acondicionamento durante comercialização e transporte (VERA et al., 2005).

Os teores de macrominerais para potássio (1047 mg.100 g<sup>-1</sup>), cálcio (68 mg.100 g<sup>-1</sup>; 6,8% IDR) e magnésio (50 mg.100 g<sup>-1</sup>; 19,23% IDR) não se alteraram nos diferentes Tratamentos da FMP (TABELA 3.6).

**TABELA 3.6.** Valores médios e desvio padrão de macrominerais (mg.100 g<sup>-1</sup>) da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

<b>FMP</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>S</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
Liofilizada	107±0,06a	967±1,04a	110±0,10ab	70±0,20a	50±0,00a
Seca a 40 °C	110±0,00a	1033±0,58a	107±0,06b	67±0,12a	47±0,06a
Seca a 50 °C	97±0,06b	950±2,18a	120±0,10ab	60±0,20a	47±0,15a
Seca a 60 °C	110±0,00a	1183±0,29a	103±0,12b	70±0,10a	53±0,06a
Seca a 70 °C	110±0,00a	1100±0,00a	133±0,06a	73±0,06a	53±0,06a
<b>CV (%)</b>	<b>3,42</b>	<b>10,68</b>	<b>7,80</b>	<b>21,48</b>	<b>16,33</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Estes valores são maiores do que os encontrados no putâmen do pequi *in natura*, de 32 mg.100 g<sup>-1</sup> para cálcio e de 30 mg.100 g<sup>-1</sup> para magnésio (TACO, 2011).

O teor de fósforo foi menor para a temperatura de 50 °C (97 mg.100 g<sup>-1</sup>; 13,86% IDR) que nas demais (109 mg.100 g<sup>-1</sup>, 15,57% IDR), e o de enxofre foi menor nas



temperaturas de 40 e 60 °C (105 mg.100 g<sup>-1</sup>) que na temperatura de 70 °C (133 mg.100 g<sup>-1</sup>).

Valor similar ao teor de fósforo da FMP foi encontrado em casca de batata, de 90 mg.100 g<sup>-1</sup>, considerado razoável (FERNANDES et al., 2008), e na farinha de mesocarpo e epicarpo de pequi, de 100 mg.100 g<sup>-1</sup> (PESSOA et al., 2013). Este mineral integra os fosfolipídios da membrana celular, estando relacionado ao crescimento dos tecidos e à manutenção do pH celular (MOTA, 2000).

A FMP constitui excelente fonte de potássio, embora não exista padrão para ingestão diária recomendável (IDR) pela norma brasileira, tendo este mineral grande importância fisiológica no funcionamento dos músculos e no metabolismo (SGARBIERI, 1987). O teor encontrado no presente estudo superou o teor no putâmen, de 201,55 mg.100 g<sup>-1</sup>, e na amêndoa, de 452,07 mg.100 g<sup>-1</sup> (OLIVEIRA et al., 2010), inclusive no teor de frutas consideradas fonte deste macronutriente, como a banana, que tem 370 mg.100 g<sup>-1</sup> (SGARBIERI, 1987).

Os teores de microminerais (TABELA 3.7) variaram quantitativamente conforme o método de processamento da FMP, com exceção do ferro, com teor médio de 9,74 mg.Kg<sup>-1</sup> (139,14% IDR). Este mineral está presente em maior concentração no putâmen (10,1 mg.Kg<sup>-1</sup>) e na amêndoa de pequi (14,2 mg.Kg<sup>-1</sup>) (OLIVEIRA et al., 2010).

**TABELA 3.7.** Valores médios e desvio padrão de microminerais (mg.Kg<sup>-1</sup>) da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

<b>FMP</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>B</b>
Liofilizada	0,53±0,17c	11,12±1,47a	17,47±1,71c	4,55±0,39b	47,13±1,49ab
Seca a 40 °C	1,28±0,07ab	5,90±3,24a	27,82±1,59a	5,03±0,07b	45,41±0,00ab
Seca a 50 °C	1,78±0,15a	12,70±5,54a	22,56±1,70b	5,08±0,59b	42,82±0,00b
Seca a 60 °C	1,38±0,13b	9,71±2,15a	24,33±1,61ba	6,07±0,35a	52,29±5,37a
Seca a 70 °C	1,27±0,29b	9,26±4,04a	24,65±2,60ba	5,21±0,18ab	49,71±2,98ab
<b>CV (%)</b>	<b>15,05</b>	<b>36,84</b>	<b>8,04</b>	<b>6,99</b>	<b>5,95</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: Coeficiente de variação.

O teor de cobre foi menor para a FMP liofilizada (58,89% IDR) e maior na secagem a 50 °C (197,78% IDR), assim como manganês, para o qual a liofilização teve influência negativa no teor (759,57% IDR), e o maior teor foi encontrado na FMP seca a 40 °C (1209,57% IDR).

Quanto ao teor de zinco, o maior valor foi encontrado na FMP seca a 60 °C (86,71% IDR), também para o teor de boro. Soares Júnior et al. (2010) não encontraram

zinco na FMP em seus estudos. Ao zinco, são atribuídas funções estruturais, enzimáticas, reguladoras e antioxidantes, estando associado a desordens de aprendizado e à memória, além de disfunções imunológicas que aumentam a recorrência de quadros infecciosos (COZZOLINO, 2008).

Em estudo com FMP, Soares Júnior et al. (2010) encontraram maiores teores para macro e microminerais (exceto zinco) quando feito o branqueamento prévio, enquanto Couto et al. (2006) obtiveram menores teores de macrominerais e maiores teores de microminerais para FCP.

A existência de discrepâncias nas composições centesimais, como relatado anteriormente, deve-se aos métodos de processamento, características genéticas e fenotípicas dos frutos de uma mesma espécie, principalmente as nativas, grau de maturação do fruto, ambiente e forma de cultivo (LIMA et al., 2007).

A FMP apresenta-se em destaque como fonte de micronutrientes, principalmente cobre, manganês e boro, presentes em concentrações maiores que a ingestão diária recomendável a um adulto saudável e maiores que em outras farinhas de resíduos, como da casca de batata (FERNANDES et al., 2008).

### 3.3.3 Acidez Titulável, pH e Sólidos Solúveis

O pH da FMP liofilizada (TABELA 3.8) foi maior ( $p < 0,05$ ) que o das farinhas secas até 70 °C ( $4,02 > 3,81$ ). A acidez titulável, conforme esperado, admitiu comportamento inverso ( $4,84 < 7,26$  g/100g). A acidez mais elevada é indício da influência negativa do processamento térmico por secagem convectiva.

**TABELA 3.8.** Valores médios e desvio padrão de pH, acidez e sólidos solúveis (SS) da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.

FMP	pH	Acidez (g ác. cítrico.100g <sup>-1</sup> )	SS (°Brix)	SS/acidez
Liofilizada	4,02±0,02a	4,84±0,65b	53,33±5,16a	11,23±2,22a
Seca a 40 °C	3,79±0,02b	7,59±1,38a	52,22±8,33a	7,17±1,95b
Seca a 50 °C	3,82±0,04b	7,42±0,59a	55,56±7,26a	7,48±0,70b
Seca a 60 °C	3,83±0,02b	7,36±1,43a	61,11±6,01a	8,68±2,37ab
Seca a 70 °C	3,80±0,04b	6,66±0,56a	57,78±10,93a	8,74±1,92ab
<b>CV (%)</b>	<b>0,74</b>	<b>14,85</b>	<b>14,20</b>	<b>22,41</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

A acidez e o pH não se alteraram com o aumento da temperatura de secagem. Geralmente, polpas de frutas apresentam poder tamponante, ocasionado pela presença simultânea de ácidos orgânicos, seus sais e de pectina (GONÇALVES et al., 2006).

O pH do putâmen do pequi é superior ao encontrado para a FMP, é mais próximo da neutralidade, com valores que variam de 5,79 (VERA et al., 2005) a 7,00, o que o configura como fruto de baixa acidez, diferente da maioria das frutas tropicais (PAZ et al., 2014).

Em função deste parâmetro, de acordo com Soares et al. (1995), os alimentos podem ser classificados em pouco ácidos (pH > 4,5), ácidos (4,5 a 4,0) e muito ácidos (<4,0).

Valores semelhantes são encontrados na literatura, para farinha da casca de lichia, pH de 4,38 (QUEIROZ et al., 2015), e para farinha da casca de pequi seca ao sol, pH de 3,97 e acidez de 9,31 g.100 g<sup>-1</sup> (COUTO et al., 2006).

Do ponto de vista tecnológico, a acidez é favorável para a conservação da qualidade da farinha, a atividade das enzimas proteolíticas é inibida quando o pH é reduzido (JASTER, 1995), o produto é mais estável à deterioração microbiológica, além disso, os ácidos orgânicos influenciam no sabor, odor e cor do produto (CECCHI, 2003).

Os teores de sólidos solúveis da FMP (TABELA 3.8) não diferiram (p>0,05) entre os diferentes métodos de processamento, apresentando valor médio de 56,19 °Brix.

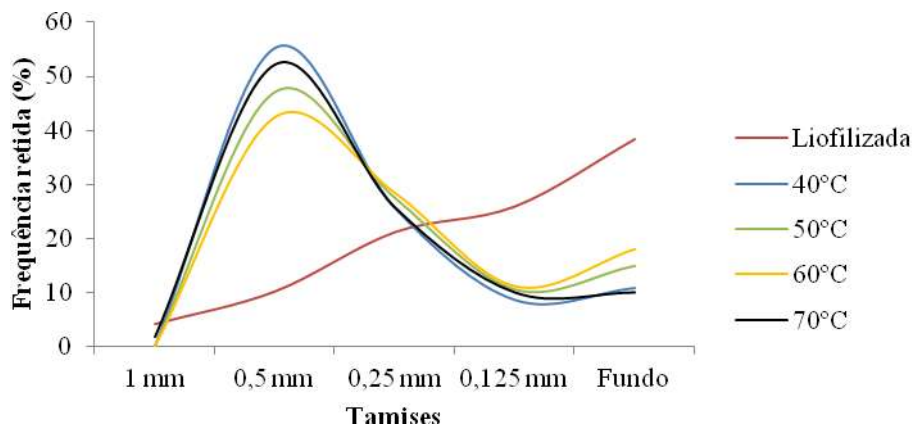
O putâmen do pequi possui aproximadamente 10° Brix e relação sólidos solúveis/acidez de 8 (OLIVEIRA et al., 2010). Os teores de sólidos solúveis de outros resíduos foram inferiores: 20,0 °Brix para farinha da casca de lichia (QUEIROZ et al., 2015) e 47,5 °Brix para farinha de acerola (AQUINO et al., 2010).

Teores de sólidos solúveis elevados são comuns em farinhas de frutos pela concentração dos carboidratos e ácidos orgânicos após a retirada de água (QUEIROZ et al., 2015). Este resultado confirma o alto valor encontrado na FG, confirmando o alto teor de carboidratos solúveis presentes na FMP (TABELA 3.5).

A baixa razão de SS/acidez (TABELA 3.8) caracteriza sabor menos adocicado (OLIVEIRA et al., 2010). Para a FMP liofilizada, esta relação foi maior que nos demais tratamentos (11,23), indicando menor sabor amargo. Durante o amadurecimento dos frutos esta relação aumenta, tornando-os mais palatáveis (RIGUEIRA, 2003).

### 3.3.4 Distribuição Granulométrica

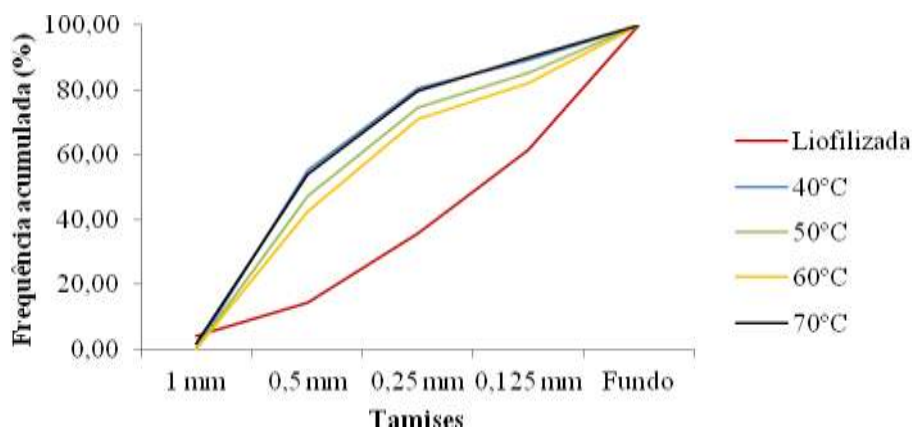
A distribuição granulométrica da frequência retida da FMP (FIGURA 3.1), ou seja, a fração de massa retida em cada tamis, apresentou comportamento semelhante para os Tratamentos secos em estufa com circulação forçada de ar.



**FIGURA 3.1.** Curvas da frequência retida da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

As curvas assimétricas das FMP secas em estufa indicam predominância de partículas maiores, principalmente na tamis 0,5 mm (maiores picos), que retém partículas na faixa de 0,5 mm a 1,0 mm. A FMP liofilizada apresentou comportamento distinto, uma distribuição mais retilínea tendendo a partículas menores, principalmente inferiores a 0,25 mm.

A distribuição granulométrica da frequência acumulada (FIGURA 3.2), ou seja, a somatória das frações retidas maiores que a abertura da tamis, confirma esse comportamento da FMP.



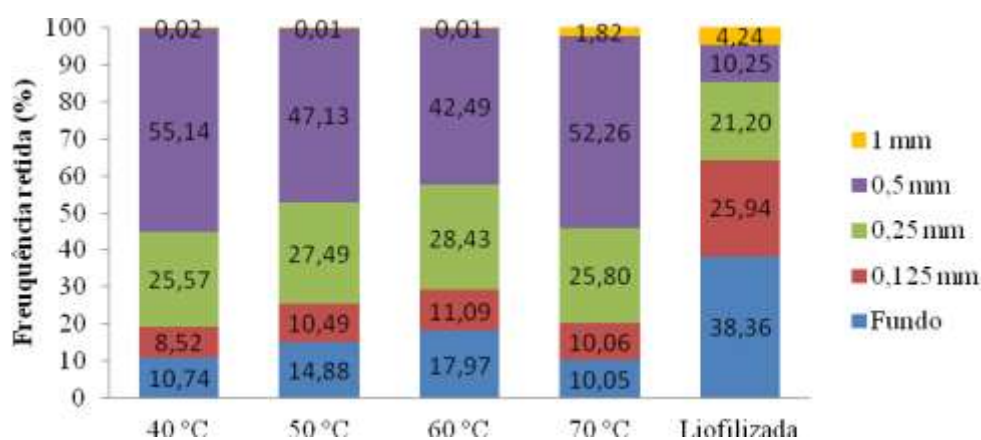
**FIGURA 3.2.** Frequência acumulada da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Observa-se trechos com maior coeficiente angular (inclinação da reta) entre as tamises de 1 mm e 0,5 mm para a secagem de 40 a 70 °C, e para a FMP liofilizada, no fundo, referente a partículas inferiores de 0,125 mm.

O gráfico histograma da FMP (FIGURA 3.3) exhibe a média das frequências retidas em cada tamis. Para caracterização da farinha, percebe-se que mais de 70% da amostra dos Tratamentos secos em estufa convencional tem granulometria maior que 0,25 mm, enquanto o liofilizado possui partículas menores que este diâmetro.

Nestas condições, a FMP seca entre 40 a 70 °C é constituída basicamente por partículas médias a finas, e a FMP liofilizada, por partículas finas, segundo classificação de partículas grossas (maior que 2 mm), médias (0,6 mm a 2 mm) e finas (menores que 0,6 mm) (ZANOTTO & BELLAVER, 1996).

Outras farinhas com comportamento similar são a de casca de batata seca a 55 °C com 54,8% de massa retida acima de 0,25 mm, a farinha de trigo integral com distribuição mais uniforme, cerca de 50% de partículas menores que 0,25 mm e 50% de partículas maiores que 0,25 mm, já a farinha de trigo branca é totalmente menor que 0,18 mm (FERNANDES et al., 2008).



**FIGURA 3.3.** Histograma da frequência retida da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Silva et al. (2012) verificaram que o método de moagem influencia diretamente o tamanho da partícula: quanto maior o tempo, maior a obtenção de partículas finas. Conforme os autores, a farinha de semente de abóbora seca a 40 °C apresentou principalmente partículas grossas, 41,86% da massa entre 0,55 mm e 1,19 mm.

Há uma tendência de os produtos liofilizados apresentarem menor diâmetro de partícula. Zotarelli et al. (2014) indentificaram cerca de 60% da frequência de partículas de aproximadamente 0,100 mm para polpa de manga liofilizada.

A granulometria depende, além dos fatores do processamento (tipo de moagem, tempo, abertura das tamises), de fatores íntimos ao produto, característicos do comportamento diante da tensão de cisalhamento (MINGUITA et al., 2013).

A presença de partículas menores e maiores é interessante para produtos em pó, uma vez que as partículas menores podem penetrar nos espaços entre as partículas maiores, ocupando menos espaço (TONON et al., 2008). Valores mais elevados do diâmetro de partícula da FMP seca em estufa indicam início do processo de aglomeração, ou coesão, quando são formadas pontes de hidrogênio que levam à formação de partículas maiores, na presença de água (CHEN & ÖZKAN, 2007).

### 3.3.5 Massa Específica Aparente e Propriedades de Hidratação

A massa específica aparente (TABELA 3.9) foi menor ( $p > 0,05$ ) na FMP liofilizada ( $0,23 \text{ g.mL}^{-1}$ ) que nas demais ( $0,75 \text{ g.mL}^{-1}$ ). Embora a liofilização tenha resultado em menor tamanho de partículas, este resultado evidencia o maior volume ocupado por elas pela provável formação de poros entre as macromoléculas.

**TABELA 3.9.** Valores médios e desvio padrão de massa específica aparente e volume de intumescimento, em base seca, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 °C.

FMP	Massa específica aparente ( $\text{g.mL}^{-1}$ )	Volume de intumescimento ( $\text{mL.g}^{-1}$ )
Liofilizada	$0,23 \pm 0,01\text{b}$	$6,11 \pm 0,33\text{a}$
Seca a 40 °C	$0,70 \pm 0,05\text{a}$	$3,95 \pm 0,20\text{b}$
Seca a 50 °C	$0,80 \pm 0,01\text{a}$	$3,42 \pm 0,12\text{bc}$
Seca a 60 °C	$0,78 \pm 0,07\text{a}$	$3,36 \pm 0,45\text{bc}$
Seca a 70 °C	$0,73 \pm 0,04\text{a}$	$2,73 \pm 0,35\text{c}$
<b>CV (%)</b>	<b>6,47</b>	<b>7,76</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Devido a essa característica de menor massa específica aparente e, portanto, maior porosidade, a FMP liofilizada tem maior volume de intumescimento (VI) (TABELA 3.9). Em contrapartida, a FMP seca a 70 °C apresentou o menor VI. Esses dois parâmetros se comportam de maneira inversa.

Estes resultados indicam o impacto do processamento na conformação espacial das moléculas e suas ligações químicas, mostrando que, na liofilização, esse impacto foi menor, enquanto a FMP seca a 70 °C teve maiores consequências. Possivelmente, o fornecimento de calor resultou em quebra de ligações químicas entre as

macromoléculas, mudança física no amido e desnaturação proteica, tendo como consequências compactação do volume e diminuição na capacidade de hidratação.

Partículas menores apresentam maior área de superfície por volume para uma mesma massa, apresentando maior quantidade de ar intersticial, o que interfere na porosidade e na massa específica aparente (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005).

Em processos de secagem em altas temperaturas ou por tempo prolongado, pode ocorrer colapso da estrutura, resultando em um produto mais compacto (KROKIDA & MAROULIS, 1997; CAPARINO et al., 2012). Já na liofilização, o produto é previamente congelado, e a utilização de baixas temperaturas permite que a estrutura seja conservada durante a secagem, mesmo durante a etapa subsequente de sublimação do gelo (KROKIDA & MAROULIS, 1997).

Por outro lado, para a comercialização, produtos em pó com maior massa específica aparente são mais desejáveis, pelo menor volume de embalagem e espaço necessário para armazenamento e distribuição e ainda pela menor quantidade de ar intersticial retarda a oxidação (SILVA, 2011).

Ribeiro et al. (2014) identificaram, respectivamente, para farinha de linhaça dourada, soja, farinha de trigo e de quinoa, massa específica de  $0,29 \text{ g.mL}^{-1}$ ,  $0,33 \text{ g.mL}^{-1}$ ,  $0,50 \text{ g.mL}^{-1}$  e  $0,56 \text{ g.mL}^{-1}$ , e valores para volume de intumescimento de  $6,47 \text{ mL.g}^{-1}$ ,  $6,86 \text{ mL.g}^{-1}$ ,  $3,14 \text{ mL.g}^{-1}$  e  $2,55 \text{ mL.g}^{-1}$ . Para farinha de manga liofilizada, a massa específica aparente foi de  $0,47 \text{ g.mL}^{-1}$  (ZOTARELLI, 2014).

Os valores observados das propriedades de absorção indicam que a FMP possui mais afinidade pelo solvente água, depois por leite, e por último, por óleo (TABELA 3.10). Faz exceção a FMP liofilizada, que tem maior afinidade pelo leite que pela água.

**TABELA 3.10.** Valores médios e desvio padrão, dos índices de absorção em água (IAA), leite (IAL) e óleo (IAO), e índices de solubilidade em água (ISA) e leite (ISL), em base seca, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

FMP	IAA ( $\text{g.g}^{-1}$ )	IAL ( $\text{g.g}^{-1}$ )	IAO ( $\text{g.g}^{-1}$ )	ISA ( $\text{g.100g}^{-1}$ )	ISL ( $\text{g.100g}^{-1}$ )
Liofilizada	7,58±0,65a	9,61±0,40a	5,01±0,09a	11,48±1,61b	1,84±0,33c
Seca a 40 °C	6,19±0,35b	5,67±0,15b	2,51±0,02b	13,65±1,53a	15,78±0,84b
Seca a 50 °C	5,62±0,12bc	5,23±0,19b	2,24±0,07c	13,43±1,94a	16,38±1,07b
Seca a 60 °C	5,17±0,34bc	4,99±0,30b	2,19±0,02c	13,60±0,78a	18,35±1,62ab
Seca a 70 °C	4,83±0,21c	4,90±0,33b	2,17±0,04c	14,15±0,85a	19,51±1,03a
<b>CV (%)</b>	<b>6,85</b>	<b>4,81</b>	<b>2,06</b>	<b>17,08</b>	<b>7,49</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Os menores valores de IAO sugerem menor disponibilidade dos grupos lipofílicos na farinha, confirmado pelo baixo teor de extrato etéreo encontrado na composição centesimal,  $1,44 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  (TABELA 3.4). A FMP liofilizada possui os maiores índices de absorção e menores índices de solubilidade, o que indica menor impacto do processamento na estrutura física e química

O teor elevado de IAA confirma maior integridade dos grânulos de amido, pela capacidade de intumescer e formar gel (RIBEIRO, 2014), além de ser consequência de as partículas de menor tamanho absorverem mais, segundo o princípio da difusividade da água (MINGUITA et al., 2013); enquanto o menor teor de ISA confirma o resultado encontrado previamente de menor teor de sólidos solúveis, dada a elevada solubilidade dos açúcares em água (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

O aumento da temperatura de secagem da farinha influenciou a queda nos índices de absorção e o aumento nos índices de solubilidade, possivelmente pelo fato de o fornecimento de energia ter causado uma quebra das ligações intermoleculares dos nutrientes e expor as hidroxilas, que podem se solubilizar mais facilmente (CARVALHO et al., 2011).

O valor mais baixo do IAA para FMP a  $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$  também pode ter sido influenciado pelo teor proteico menor (TABELA 3.2), pois a proteína pode absorver dois terços de seu peso em água (MONTENEGRO & ORMENESE, 2009).

Os resultados são equiparáveis ao estudo de Leão (2013) também com mesocarpo do pequi, com valores de IAA de  $5,01 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ , ISA de  $16,57 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  e IAO  $1,84 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ . Carvalho et al. (2011) encontraram, para a farinha da pupunheira, menores valores que o presente estudo, IAA de  $2,29 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  e ISA de  $2,61 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ .

Ribeiro et al. (2014) identificaram, para farinha de trigo, quinoa, soja e linhaça dourada, valores respectivos para IAA de  $2,22 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,  $2,88 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,  $3,82 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  e de  $7,31 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ , e para IAO, valores de  $2,73 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,  $2,92 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,  $3,04 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  e de  $2,56 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ . A propriedade de absorção da FMP se assemelha mais à farinha de linhaça dourada, provavelmente pelos elevados teores de carboidratos totais, fibras e característica do amido.

Ferreira (2012) encontrou teores de IAL de  $2,57 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  e ISL de  $11,68 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  para farinha de grãos de arroz e pela modificação enzimática do amido, conseguiu aumentar esses teores para IAL de  $2,60 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  e ISL  $24,54 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ .

As propriedades de hidratação da FMP liofilizada indicam melhor adequação na formulação de alimentos processados, como espessante e estabilizante de misturas pré-

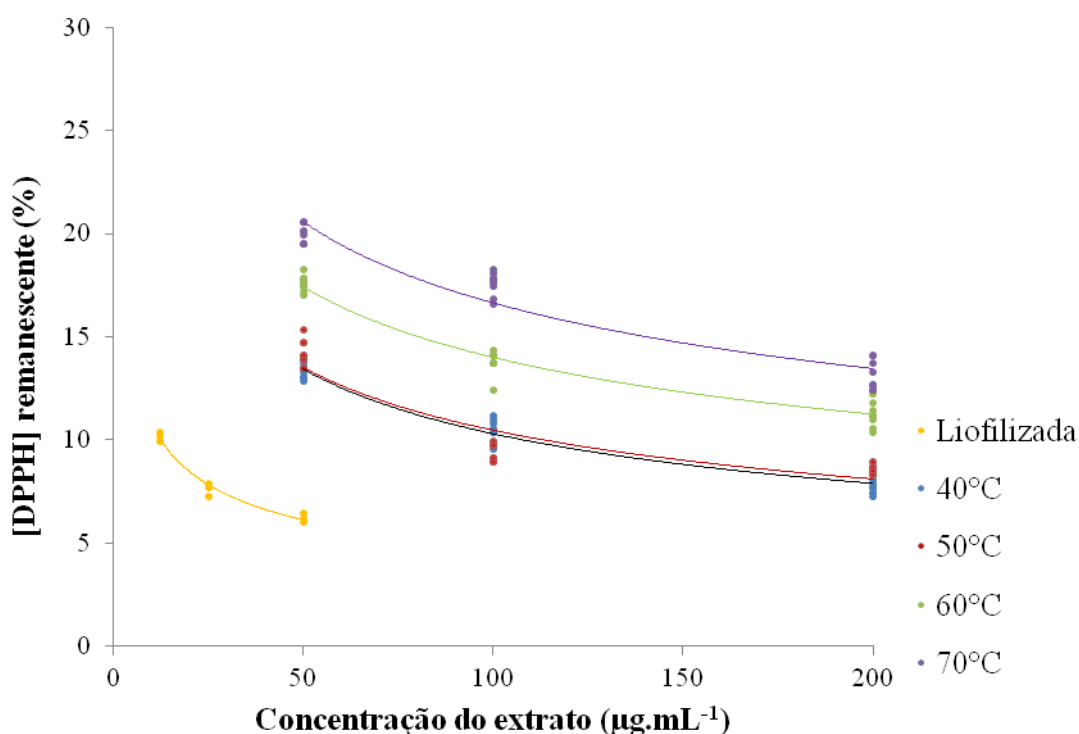


elaboradas, produtos cárneos, pães, bolos, cereais matinais, farinhas lácteas, sobremesas lácteas, massas alimentícias. Já para alimentos solúveis e instantâneos, como sopas, mingaus, achocolatados, a FMP seca em estufa tem melhores propriedades (FERREIRA, 2012; BECKER, 2010).

A FMP liofilizada também possui potencial propriedade emulsificante. Devido aos elevados valores de IAO e IAA, possui afinidade hidrofílica e lipofílica, com aplicação como melhoradores de textura de produtos lipídicos, pelo controle de polimorfismo e da estrutura cristalina dos lipídios, para aumento do *shelf life* de produtos contendo amido e para solubilização de aromas (LEÃO, 2013).

### 3.3.6 Atividade Antioxidante Total e Fenólicos Totais

A concentração do radical DPPH remanescente em relação à concentração do extrato da FMP foram apresentadas em gráfico (FIGURA 3.4). Percebe-se relação inversamente proporcional pela curva de potência, expressa por equação e coeficiente de determinação relativos a cada Tratamento, que mostrou bom ajuste dos dados a esse modelo (TABELA 3.11).



**FIGURA 3.4.** Curvas da concentração de DPPH remanescente dos extratos de farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

**TABELA 3.11.** Equação da curva da concentração de DPPH remanescente, coeficiente de determinação, valores médios e desvio padrão da concentração inibitória ( $EC_{50}$ ) e fenólicos totais da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

FMP	[DPPH] <sub>rem</sub> (%) <sup>*</sup>	R <sup>2</sup> (%)	EC <sub>50</sub> ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )	Fenólicos totais (mg EAG.100 g <sup>-1</sup> )
Liofilizada	$y = 24,489x^{-0,354}$	99,19	0,13±0,002a	176,86±12,58a
Seca a 40 °C	$y = 60,524x^{-0,384}$	98,38	1,64±0,32b	158,58±3,65ab
Seca a 50 °C	$y = 57,007x^{-0,366}$	88,72	1,45±0,59b	147,66±3,84bc
Seca a 60 °C	$y = 60,396x^{-0,316}$	95,38	1,82±0,64b	133,30±9,31c
Seca a 70 °C	$y = 60,483x^{-0,306}$	92,44	2,78±0,84b	94,03±6,57d
<b>CV (%)</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>36,24</b>	<b>11,20</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. \* y = concentração do DPPH remanescente (%); x = concentração do extrato de FMP ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ ). CV: coeficiente de variação.

Este modelo de curva de potência (FIGURA 3.4) indica que, nas concentrações mais baixas dos extratos etanólicos, uma pequena variação implica maior sequestro do radical, enquanto nas concentrações mais elevadas, há tendência de se atingir o platô de estabilização limite da atividade antioxidante.

Percebe-se comportamento similar entre as FMP processadas em estufa de circulação de ar. Nas temperaturas mais baixas de secagem, foram menores os teores de DPPH remanescente, o que indica atividade antiradicalar mais elevada.

Em distinção está o comportamento da FMP liofilizada. A elevada higroscopicidade indisponibilizou o estudo em extratos mais concentrados, pois o produto absorveu o solvente por completo. Sabe-se também que o tamanho das partículas influencia a eficiência do processo extrativo, pois, durante a filtração, o pó muito fino (abaixo de 0,125 mm) pode favorecer o entupimento (LIST & SCHMIDT, 2000).

Embora a extração tenha sido feita em concentrações mais baixas (12,5; 25 e 50  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), a FMP liofilizada apresentou menor concentração de DPPH remanescente que as demais, um indicativo de maior capacidade antioxidante.

A concentração inibitória  $EC_{50}$  (TABELA 3.11) dos Tratamentos foi menor para a FMP liofilizada (0,13  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) e igual para as diferentes temperaturas da secagem em estufa (1,92  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ). Quanto maior o consumo de DPPH, menor será a  $EC_{50}$  e maior a sua atividade antioxidante (SOUSA et al, 2007).

A FMP apresentou excelente atividade antioxidante, com  $EC_{50}$  melhor do que o de folhas de plantas medicinais como *Terminalia brasiliensis* Camb (44,53  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), *Qualea grandiflora* Mart. (50,16  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) e *Cenostigma macrophyllum* Tull. (78,45

$\mu\text{g.mL}^{-1}$ ), inclusive maior do que alguns padrões positivos como ácido gálico ( $24,27 \mu\text{g.mL}^{-1}$ ) e rutina ( $27,80 \mu\text{g.mL}^{-1}$ ) (SOUSA et al., 2007), maior também que casca e semente de cagaita com  $\text{EC}_{50}$  de  $387,47 \mu\text{g.mL}^{-1}$  e casca de araticum  $49,18 \mu\text{g.mL}^{-1}$ .

Estes dados justificam a provável existência de efeito sinérgico de fitoquímicos antioxidantes presentes do mesocarpo do pequi. Outros autores relataram esta elevada atividade antioxidante da casca do pequi.

Roesler et al. (2007) identificaram  $\text{EC}_{50}$  de  $9,44 \mu\text{g.mL}^{-1}$  em extrato etanólico e  $17,98 \mu\text{g.mL}^{-1}$  em extrato aquoso da casca de pequi. Leão (2013) determinou  $\text{EC}_{50}$  de  $45,07 \text{ g/g}$  em extrato de metanol e acetona, e atividade antioxidante de  $40,08\%$  na concentração de  $260,41 \mu\text{g.mL}^{-1}$ .

A atividade antioxidante da FMP foi maior que nas frações fisiológicas de polpa e amêndoa do pequi, em extrato alcoólico, com  $\text{EC}_{50}$ , respectivamente, de  $820,7 \mu\text{g.mL}^{-1}$  e  $998,1 \mu\text{g.mL}^{-1}$  (LIMA, 2008).

Costa et al. (2012a) verificaram maior atividade antioxidante na FCP seca a  $50^\circ\text{C}$  que em  $40$  e  $60^\circ\text{C}$ . No presente estudo, o aumento da temperatura teve efeito negativo na atividade antioxidante, assim como a secagem em estufa em comparação com a liofilização (TABELA 3.12).

**TABELA 3.12.** Valores médios e desvio padrão da atividade antioxidante em diferentes concentrações do extrato da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de  $40$ ,  $50$ ,  $60$  e  $70^\circ\text{C}$ .

FMP	Atividade Antioxidante (%)					CV (%)
	$12,5 \mu\text{g.mL}^{-1}$	$25 \mu\text{g.mL}^{-1}$	$50 \mu\text{g.mL}^{-1}$	$100 \mu\text{g.mL}^{-1}$	$200 \mu\text{g.mL}^{-1}$	
Liofilizada	$89,83 \pm 0,21$ eA	$92,39 \pm 0,32$ dA	$93,78 \pm 0,21$ cA	$95,20^*$ bA	$96,25^*$ aA	2,49
Seca a $40^\circ\text{C}$	$77,12^*$ eB	$82,46^*$ dB	$86,56 \pm 0,41$ cB	$89,67 \pm 0,68$ bC	$92,09 \pm 0,57$ aB	6,30
Seca a $50^\circ\text{C}$	$77,47^*$ eB	$82,56^*$ dB	$85,80 \pm 0,62$ cC	$90,69 \pm 0,50$ bB	$91,49 \pm 0,23$ aB	6,17
Seca a $60^\circ\text{C}$	$72,98^*$ eC	$78,29^*$ dC	$82,41 \pm 0,37$ cD	$86,24 \pm 0,55$ bD	$88,64 \pm 0,70$ aC	6,95
Seca a $70^\circ\text{C}$	$68,53^*$ eD	$75,55^*$ dD	$79,97 \pm 0,45$ cE	$82,43 \pm 0,55$ bE	$86,88 \pm 0,69$ aD	8,23
<b>CV (%)</b>	<b>7,36</b>	<b>5,91</b>	<b>4,48</b>	<b>4,38</b>	<b>3,05</b>	<b>8,14</b>

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. \*Valor calculado pela equação do modelo. CV: coeficiente de variação.

O que pode ter ocorrido é a degradação de algum composto antioxidante pela ação da temperatura e tempo de secagem. Além dos polifenóis, podem também ter se degradado os carotenoides, afetados por temperaturas a partir de  $40^\circ\text{C}$ . Os principais carotenoides presentes no pequi são a anteraxantina, zeaxantina, violaxantina, e luteína,

seguido de zeaxantina,  $\beta$ -criptoxantina,  $\beta$ -caroteno e neoxantina (AZEVEDO-MELEIRO & RODRIGUEZ-AMAYA, 2004).

Os diferentes mecanismos da atividade antioxidante são dependentes do sistema e podem variar conforme o radical usado, solvente, fase do antioxidante, entre outros, portanto, nenhum método único é capaz de fornecer um panorama compreensível do perfil antioxidante de uma amostra (KOLEVA et al., 2002).

A concentração de fenólicos totais por secagem em circulação de ar forçado foi menor do que na FMP liofilizada, de 176,86 mg.100 g<sup>-1</sup> (TABELA 3.11). E em relação à temperatura, a diferença foi mais pronunciada em 70 °C, com o menor teor encontrado (94,03 mg.100 g<sup>-1</sup>).

Em estudos com pequi, Costa et al. (2012a) não identificaram diferença de polifenóis conforme as temperaturas de secagem de 40, 50 e 60 °C da farinha da polpa de pequi, com valor médio de 167,66 mg.100 g<sup>-1</sup>. Já Lima et al. (2007) encontraram teores de 209 mg.100 g<sup>-1</sup> na polpa.

O teor de polifenóis encontrado na FMP é superior ao da farinha de polpa de jatobá, de 108,91 mg.100 g<sup>-1</sup> (COSTA et al., 2012a), porém inferior ao da farinha de polpa de araticum, de 187,08 mg.100 g<sup>-1</sup> (COSTA et al., 2012b).

Alguns compostos fenólicos já identificados no extrato etanólico da casca de pequi são o ácido gálico, ácido quínico, quercetina e quercetina 3-O arabinose, que justificam a elevada atividade antioxidante (ROESLER et al., 2008).

Os fenólicos atuam na captura de radicais livres (grupo hidroxil) e quelação dos peróxidos de lipídios (grupo peroxil), sendo que estes grupos doam elétron e neutralizam o radical, formando intermediários excretados pela bile (PAN et al., 1999).

Estes compostos fenólicos e outros com atividade antioxidante são metabólitos secundários, com concentrações variáveis, em função do tecido vegetal, espécie, genótipo, localização geográfica, característica do solo, clima, principalmente stress biótico e abiótico na planta. Também interferem fatores metodológicos como solvente, tipo de extração, agitação e concentração inicial do extrato (LIMA et al., 2007; VERA et al., 2005).

Mesmo com a composição dos compostos fenólicos conhecida, a atividade antioxidante não pode ser devidamente calculada com precisão a partir desses dados. As atuais informações sobre antioxidantes são escassas e muito conflitantes, devido as diferentes concentrações dos extratos, presença de pigmentos, escolha do solvente,

padrões e unidades de medida. A atividade antioxidante total não é a somatória das atividades dos compostos individuais decorrente à complexa interação entre estes (sinergismo, antagonismo), que tem sido pobremente investigada (ROGINSKY & LISSI, 2005).

### 3.3.7 Coordenadas Colorimétricas

O método de processamento e a temperatura de secagem têm efeito significativo na cor de farinhas (ORIKASA et al., 2010). Esta influência foi observada no presente estudo sobre FMP.

Na FMP liofilizada, foram observadas maiores cromaticidades L\* e b\* e menor a\*, que representam, respectivamente, maior luminosidade, cor amarela mais intensa e a vermelha menos intensa (TABELA 3.14). Esta foi a farinha com coloração mais próxima do mesocarpo do pequi *in natura*, comportamento característico de menor impacto do processamento para este parâmetro, com melhor preservação dos pigmentos naturais.

**TABELA 3.13.** Valores médios e desvio padrão das coordenadas L\*, a\* e b\* da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

<b>FMP</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
Liofilizada	66,20±1,29a	5,06±0,38c	31,20±2,19a
Seca a 40 °C	48,68±4,85c	8,69±2,03a	29,70±1,91a
Seca a 50 °C	55,12±4,53b	7,21±1,23ab	29,85±0,66a
Seca a 60 °C	56,54±2,18b	6,67±0,62b	29,26±0,45ab
Seca a 70 °C	45,94±2,18c	8,45±1,10a	27,57±1,08b
<b>CV (%)</b>	<b>6,01</b>	<b>16,76</b>	<b>4,93</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Em oposição, as secagens em 40 e 70 °C tiveram maior impacto sobre os pigmentos que compõem a cor das farinhas. Foram observados maior escurecimento (menor L\*), tom mais avermelhado (maior a\*) e menor tonalidade (°h), característicos da presença de compostos escuros (TABELA 3.14). Para a FMP obtida em 70 °C, houve redução na cromaticidade b\*, relacionada ao tom amarelo menos intenso.

**Tabela 3.14.** Valores médios e desvio padrão das coordenadas C\* (chroma), °h (hue) e ΔE (diferença total de cor) da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas 40, 50, 60 e 70 °C.

FMP	C*	°h	ΔE
Liofilizada	31,61±2,13a	80,73±1,17a	---
Seca a 40 °C	30,99±2,28a	73,84±3,00c	18,13±4,92a
Seca a 50 °C	30,72±0,89ab	76,46±2,00b	11,42±4,60b
Seca a 60 °C	30,02±0,54ab	77,17±1,01b	10,00±2,16b
Seca a 70 °C	28,84±1,33b	73,02±1,54c	20,92±2,11a
<b>CV (%)</b>	<b>5,26</b>	<b>2,45</b>	<b>24,41</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Na secagem a 70 °C, a cromaticidade b\* teve o menor valor encontrado, indicando menor intensidade da cor amarela, relacionada aos menores valores de C\* e °h. A elevada temperatura teve maior impacto na degradação de pigmentos e formação de compostos do escurecimento não enzimático (VAN SOEST, 1994), fato confirmado pelo menor grau de intensidade de saturação da cor (C\*) (TABELA 3.14).

A cada 10°C de aumento da temperatura, a velocidade das reações químicas e enzimáticas duplica, em sistema-modelo, segundo lei de Van't Koff (FENEMMA et al., 2010). Por isso, o tratamento térmico tem efeito sobre a degradação do ácido ascórbico, com formação de pigmentos escuros (DEMIRAY et al., 2012), na caramelização de açúcares e no escurecimento não enzimático, na reação de Maillard, com formação de produtos escuros, as melanoidinas (FENEMMA et al., 2010).

Para a secagem em 40 °C, o maior tempo de exposição à circulação de ar (16,83 h), possivelmente, influenciou no escurecimento oxidativo. Os carotenoides são altamente sensíveis à oxidação devido ao elevado grau de insaturação, podendo ser catalisada por enzimas e pelo oxigênio (GODOY & RODRIGUEZ-AMAYA, 1998).

Quanto à degradação dos pigmentos responsáveis pela cor, vários fatores podem ser indicados, como o escurecimento enzimático e não enzimático e condições de processamento como pH, acidez, tempo e temperatura de processamento (AHMED & SHIVHARE, 2001).

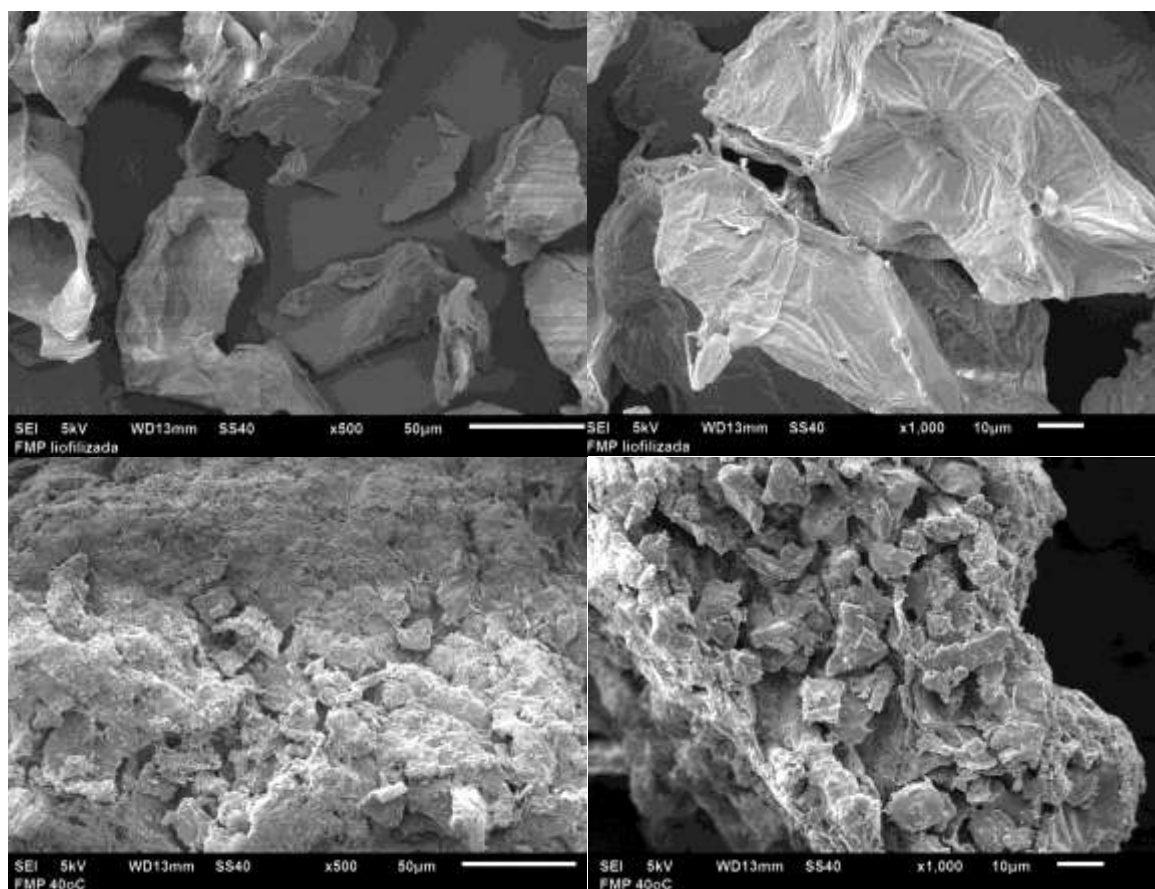
Durante a secagem de alimentos, a degradação de compostos orgânicos pode ocorrer em função de três aspectos: as moléculas componentes do alimento são aproximadas, aumentando assim a probabilidade de interação entre elas; a remoção da água do alimento acarreta na formação de microcapilares no produto, o que facilita o

acesso físico do oxigênio atmosférico; e há remoção da água de hidratação protetora dos sítios reativos das moléculas (ARAÚJO, 2001).

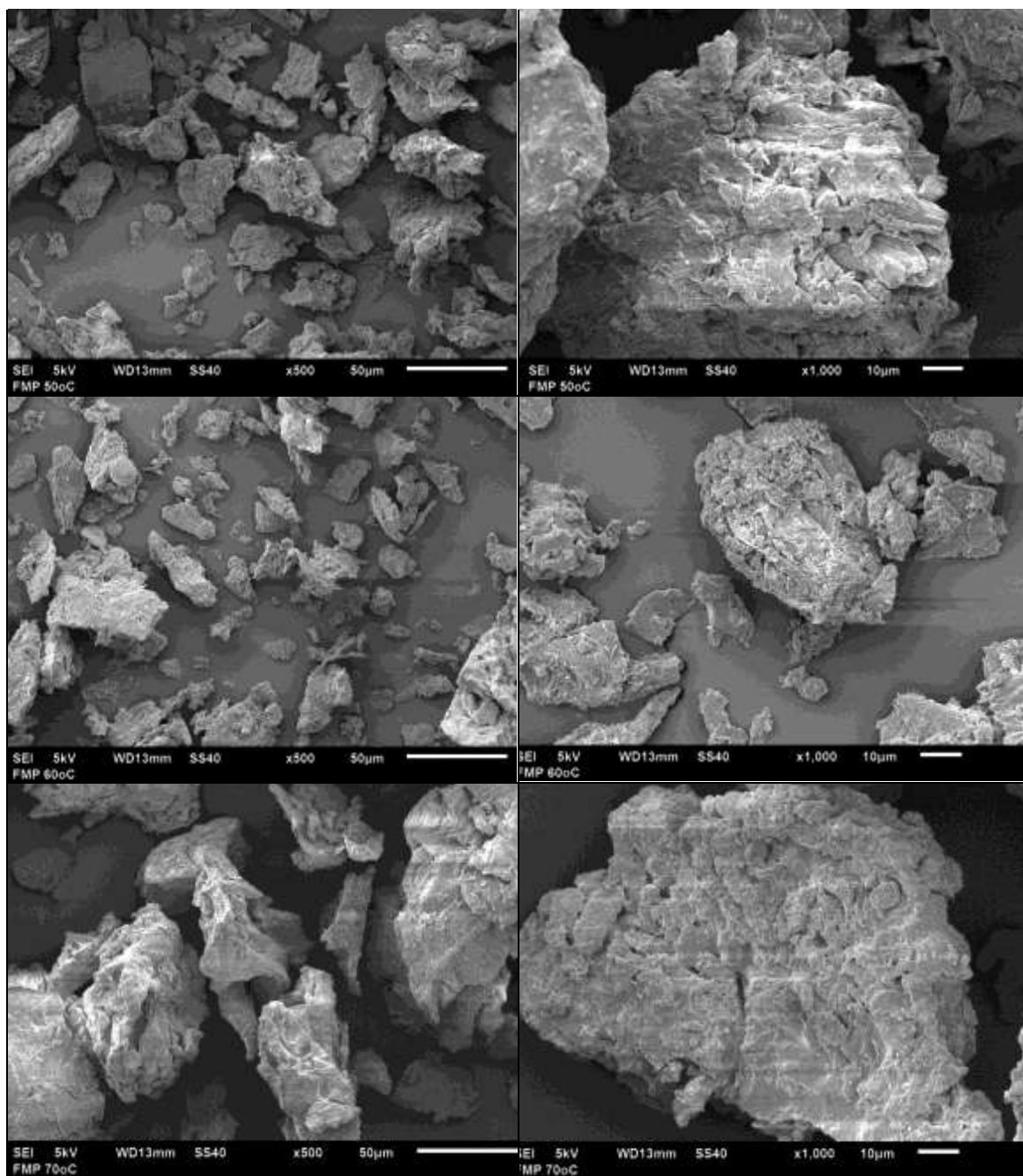
Outros estudos com este subproduto apresentaram resultados similares. Couto et al. (2006) encontraram, para as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , respectivamente, 51,07; 9,11 e 28,86 para a farinha de pequi (epicarpo + mesocarpo externo) seca ao sol; e Leão (2013) encontrou, para as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $^{\circ}h$ , respectivamente, 37,11; 12,58; 27,23; 29,99 e 65,2 para FMP seca a 50 °C por 24 horas.

### 3.3.8 Microscopia Eletrônica de Varredura

A microestrutura da FMP liofilizada diferiu das demais (FIGURA 3.5). Foram confirmados a presença de canais internos, maior porosidade e espaçamento entre os constituintes, característicos da secagem por sublimação. Essa estrutura justifica os resultados encontrados de menor massa específica aparente e maior volume de intumescimento (TABELA 3.9).



**FIGURA 3.5.** Eletromicrografias de varredura, em aproximações de 500x e 1.000x, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C (Continua).



**FIGURA 3.5.** (Continuação). Eletromicrografias de varredura, em aproximações de 500x e 1.000x, da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

O colapso estrutural de uma matriz liofilizada é relacionado com a taxa de congelamento: quanto mais lenta, maiores os cristais de gelo e mais poros são formados (WANG, 2000).

A secagem do produto congelado sem adição de estabilizante (açúcar, poli-álcool) ocasionalmente acarreta desdobraimento molecular de proteínas, que pode ser reversível após a reidratação (CARPENTER et al., 1999).



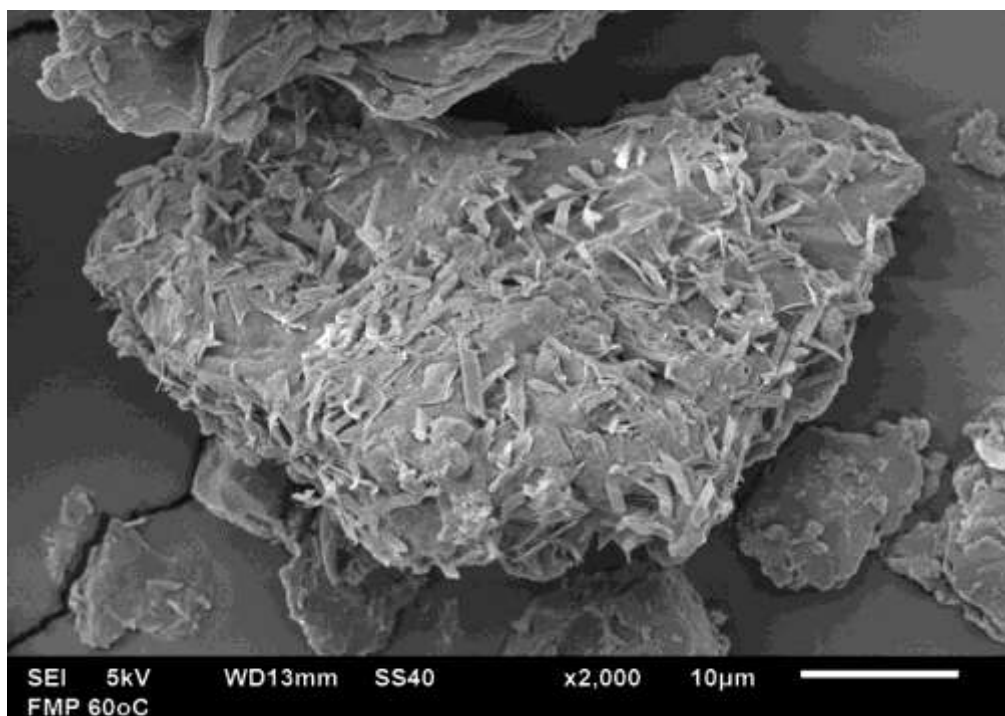
A desnaturação proteica também está relacionada à alteração de pH durante a liofilização (TABELA 3.8). Esse método de secagem conduz à conversão da estrutura  $\alpha$ -hélice para folhas  $\beta$ -pregueada, e mais ligações intra e intermolecular, por causa da afinidade dos grupos polares livres das ligações com a água (GRIEBENOW et al., 1995).

Estruturas amorfas são comuns em produtos liofilizados, caracterizadas por um estado desordenado em que não há repetição de formas geométricas e presença de faces planas bem estabelecidas, tornando o produto altamente higroscópico (ALVES et al., 2008), justificando os altos índices de absorção. Já as estruturas cristalinas são estáveis, com componentes arranjados de forma constante na rede, sendo iniciadas a partir de nucleação pela presença de açúcares induzida por supersaturação (GEANKOPLIS, 1998).

Na FMP submetida à secagem em temperatura de 40 °C, foi observado adensamento da matriz de macromoléculas, porém, ainda com estruturas bem definidas, em uma rede mais cristalina, justificando a baixa massa específica aparente, o alto volume de intumescimento (TABELA 3.9) e os altos índices de absorção (TABELA 3.10) em comparação com as outras temperaturas. Os grânulos de amido estão mais definidos, em formato poliédrico e lenticular, em tamanho aproximado de 10  $\mu\text{m}$ . Estes grânulos são bastante variáveis, geralmente de 1 a 100  $\mu\text{m}$ , com formatos regulares e irregulares (LIU, 2005).

Na secagem a 50 °C, a estrutura, que era cristalina, apresentou aspecto diferenciado, característico de descontinuidade. Ferreira et al. (2012) também relataram esse aspecto de erosão devido à hidrólise pela  $\alpha$ -amilase, tornando os grânulos de amido menos angulares, divididos em partes.

A partir de 60 °C, a estrutura da FMP foi mais disforme, com componentes circulares maiores, possivelmente os grânulos de amido intumescidos, tendo ocorrido presença de estruturas lineares, que podem ser cadeias de amilose. Provavelmente, houve o fenômeno de gelatinização do amido, que se inicia geralmente nesta temperatura (LAGARRIGUE et al., 2008). Para confirmação, foi realizada eletromicrografia em maior aproximação (FIGURA 3.6).



**FIGURA 3.6.** Eletromicrografias de varredura em aproximação de 2.000x, da farinha do mesocarpo de pequi submetida à secagem na temperatura de 60 °C.

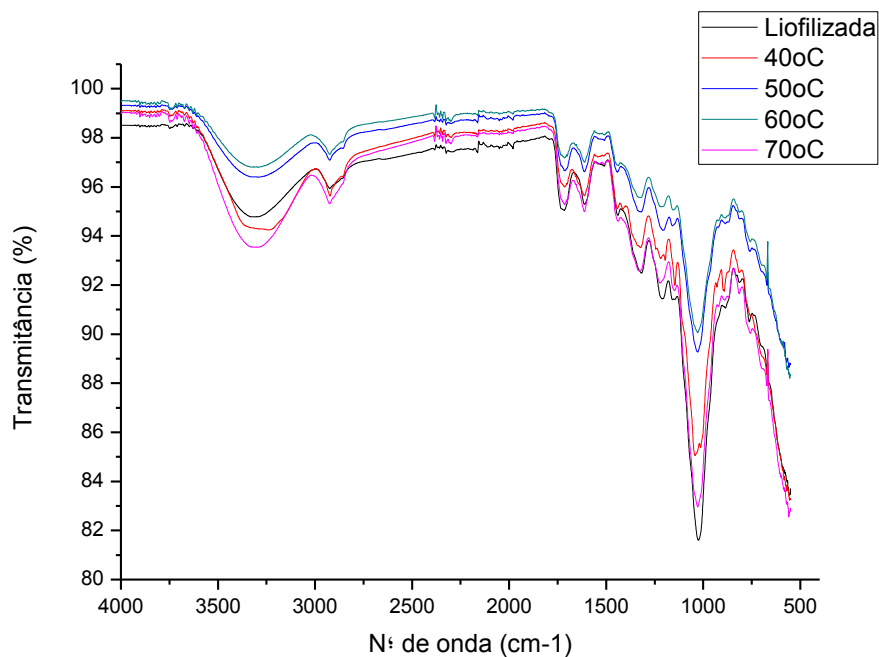
A 70 °C, observou-se que o processamento térmico afetou a estrutura da FMP. A maior solubilidade em água (TABELA 3.10) é indício da degradação do amido, que pode ser justificada pela gelatinização, resultando em grânulos maiores e liberação de cadeias lineares de amilose. Resultou em menor volume de intumescimento (TABELA 3.10), influenciado pela estrutura mais compacta da matriz dos macroconstituintes.

Soma-se ainda o efeito de desnaturação proteica (TABELA 3.2) e da rápida taxa de transferência de água, observada por microestrutura mais contínua e menos definida, característica da alteração na conformação tridimensional das proteínas.

### **3.3.9 Espectroscopia de Infravermelho Próximo**

A espectroscopia no infravermelho (NIRS) determina os grupos funcionais conforme absorção em frequência característica, com vibrações de estiramento ou deformação (SILVERSTEIN, 1994).

De modo geral, os espectros de infravermelho próximo dos Tratamentos (FIGURA 3.7) apresentaram comportamento similar para os diferentes processamentos de FMP, uma vez que a composição química não foi bastante divergente.



**FIGURA 3.7.** Espectros na região próxima de infravermelho da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada e submetida à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

A região de  $3.640\text{ cm}^{-1}$  a  $3.610\text{ cm}^{-1}$  refere-se ao grupo O-H livre, relacionado a moléculas de água (PERIOTTO, 2012). Observam-se menores bandas para o Tratamento liofilizado, que tem o menor teor de água (TABELA 3.1).

O modo vibracional observado em  $3400\text{ cm}^{-1}$  refere-se ao grupo funcional O-H, relativo a ácidos orgânicos e álcoois (OLIVEIRA, 2001). A banda com menor pico foi a da FMP seca a 70 °C e a 40 °C, confirmando a hipótese de degradação do ácido ascórbico e escurecimento pela ação do tempo e temperatura de secagem.

É relatado também, na região de  $3.500\text{ cm}^{-1}$  a  $3.070\text{ cm}^{-1}$ , o grupo funcional N-H, aminas (PERIOTTO, 2012). Pode-se verificar que a menor transmitância é da banda de FMP seca a 70 °C, salientando-se também o provável menor teor proteico.

A banda de vibração entre  $2.995\text{ cm}^{-1}$  a  $2.830\text{ cm}^{-1}$  refere-se ao movimento vibracional dos grupos funcionais C-H de hidrocarbonetos, podendo ser de ácidos graxos ou outros compostos orgânicos, como carotenoides (MANTSCH & CHAPMAN, 1996). Observou-se menor concentração após secagem a 70 °C e 40 °C.

Os autores informaram que a região da banda entre  $1700\text{ cm}^{-1}$  a  $1590\text{ cm}^{-1}$  se relaciona à amida da proteína, que representa 80% da vibração do estiramento C=O. Pode-se observar que o espectro com menor transmitância é o da FMP seca a 70 °C, onde provavelmente houve desnaturação proteica e/ou complexação dos aminoácidos.

A banda em  $1600\text{ cm}^{-1}$  refere-se ao movimento de deformação de ângulo das ligações  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$ . A banda em  $1200\text{ cm}^{-1}$  refere-se ao movimento de vibração do grupo C-O, relativo a álcool e éter (OLIVEIRA, 2001).

A região  $1190\text{ cm}^{-1}$  a  $955\text{ cm}^{-1}$  identifica as vibrações das ligações C-O-C de polissacarídeos (MANTSCH & CHAPMAN, 1996). A menor transmitância da FMP seca em  $40^\circ\text{C}$  e liofilizada reflete os menores teores de sólidos solúveis, enquanto o pico da FMP seca a  $60^\circ\text{C}$  reflete o maior teor de SS neste tratamento.

Sucintamente, pode-se esclarecer que as FMP secas em  $50^\circ\text{C}$  e  $60^\circ\text{C}$  sofreram menores prejuízos na composição química conforme o tratamento de secagem observado pelos espectros com os maiores níveis de transmitância.

### 3.4 CONCLUSÃO

A composição química apresenta pouca variação entre os métodos de secagem do mesocarpo de pequi. A liofilização proporciona maior remoção de água, e a secagem em  $70^\circ\text{C}$  ocasiona complexação e desnaturação das proteínas. A FMP tem baixo teor de lipídios, porém é boa fonte energética. Do perfil mineral, destacam-se os teores de potássio, cobre, manganês e boro. A FMP apresenta teor muito alto de fibra alimentar.

A liofilização resulta em estrutura amorfa porosa evidenciada pela MEV, composta por partículas finas apresentadas na distribuição granulométrica. Estes parâmetros resultam em menor massa específica aparente e maiores volume de intumescimento e índices de absorção, indicando maior integridade do amido durante o processamento e o colapso proteico reversível.

A FMP liofilizada tem menor acidez e maior relação sólidos solúveis/acidez, indicativa de menor sabor amargo. Destaca-se a atividade antioxidante, atribuída ao efeito sinérgico do elevado teor de fenólicos e de outros compostos não danificados pelo processamento, como os carotenoides, inferidos pela preservação da cor mais clara, intensa e pura do mesocarpo do pequi.

O efeito do tempo de exposição ao oxigênio e a temperatura nas secagens por convecção em  $40^\circ\text{C}$  e  $70^\circ\text{C}$ , respectivamente, são determinantes para a catálise de reações não enzimáticas de escurecimento. A atividade antioxidante e o teor de fenólicos são afetados somente pelo aumento da temperatura, que acarreta dessarranjo molecular da microestrutura por desnaturação proteica e gelatinização do amido.

A FMP liofilizada preserva melhor as propriedades nutricionais e funcionais do mesocarpo do pequi, mas, por se tratar de método mais oneroso, é aplicável em produtos com alegação funcional de maior valor agregado, como lácteos, cárneos, aditivo para retenção de água e no setor farmacêutico.

A secagem por convecção a 50 °C é um método de processamento mais econômico, que mantém a composição nutricional e a atividade antioxidante da FMP, com aplicação mais direcionada a produtos solúveis e à alimentação animal.

Devido à riqueza nutricional, propriedades físico-químicas, elevados teores de fibra alimentar total, compostos fenólicos e atividade antioxidante, a farinha do mesocarpo de pequi surge como fonte promissora para aplicação nos setores farmacêutico, alimentício e de nutrição animal.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC - American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of analysis**. 10th ed. AACC International:St. Paul, 2000.
- ABDALLA, A.E.M.; DARWISH, S.M.; AYAD, E.H.E.; EL-HAMAHMY, R.M. Egyptian mango by-product 2: antioxidant and antimicrobial activities of extract and oil from mango seed kernel. **Food Chemistry**, v.103, n.4, p.1141-1152, 2007.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Especificações de cores de acordo com o sistema de notação Munsell – NBR 12694**. Rio de Janeiro, 1992.
- ABUD, A.K.S.; NARAIN, N. Incorporação da farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.12, n.4, p.257-265, 2009.
- AHMED, J.; SHIVHARE, U.S. Thermal kinetics of color degradation and storage characteristics of onion paste. **Lebensmittel- Wissenschaft und- Technologie**, v.34, n.6, p.380-383, 2001.
- ALVES, C.C.O.; RESENDE, J.V.; CRUVINEL, R.S.R.; PRADO, M.E.T. Stability of the microstructure and carotenoids contents of the freeze-dried pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) pulp in the powdered form. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.4, p. 830-839, 2008.
- ALVES, J.S.; COUTO, E.M.; PEREIRA, J. **Caracterização de bolos à base de pré-mistura elaboradas com farinha de casca de pequi**. In: XVI Congresso de Pós-Graduação da UFLA, 2007. Anais XVI Congresso de Pós-Graduação da UFLA, 2007.
- ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.F.; GRIFFIN JUNIOR, L. Gelatinization of Corn Grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, v.14, n.1, p. 4-12, 1969.
- ANDRADE, L.A.; NAGATA, C.L.P.; ASSUMPCÃO, G.M.P.; GONÇALVES, G.A.S.; PEREIRA, J. Demucilated taro corm flour used in cake preparation. **Científica**, v.43, n.3, p.203-214, 2015.
- AOAC - Association of Agricultural Chemists. **Official Methods of Analysis of the Association of Agricultural Chemists**. 19 ed. Washington, 2012.
- AQUINO, A.C.M.S.; MOÉS, R.S.; LEÃO, K.M.M.; FIGUEIREDO, A.V.D.; CASTRO, A.A. Avaliação físico-química e aceitação sensorial de biscoitos tipo cookies

- elaborados com farinha de resíduos de acerola. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.69, n.3, p.379-386, 2010.
- ARAÚJO, J.M.A. **Química dos alimentos: teoria e prática**. Viçosa: UFV, 2001. 335p.
- ARÉVALO-PINEDO A.; MURR, F.E.X. Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): modeling with shrinkage. **Journal of Food Engineering**, v.76, n.4, p.562–567, 2006.
- AZEVEDO-MELEIRO, C.H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.17, n.34, p.385–396, 2004.
- BARBOSA, R.C.M.V.; AMANTE, E.R. Farinha da casca de pequi (*Caryocar brasiliense*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17, 2002, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2002. 1 CD-ROM.
- Barbosa-Cánovas GV, Ortega-Rivas E, Juliano P, Yan H. Bulk properties. **In: Food power: physical properties, processing, and functionality**. New York: Kluwer Academic; 2005.
- BECKER, F.S. **Caracterização de farinhas cruas e extrusadas obtidas a partir de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.
- BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. **Introdução à química de alimentos**. 3. ed. rev. ampl. São Paulo: Livraria Varela, 2001. 223p.
- BONFÁ, H.C.; RUFINO, L.M.A.; RIBEIRO JUNIOR, C.S.; MORAIS, G.; GERASEEV, L.C.; RIBEIRO, F.L.A. **Efeitos dos níveis de inclusão do farelo da casca de pequi sobre a digestibilidade aparente em caprinos**. In: ZOOTEC, 19., 2009, Águas de Lindoia. **Anais...** Águas de Lindoia, Associação Brasileira de Zootecnistas, 2009.
- BOTEZELLI, L.; DAVIDE, A.C.; MALAVASI, M.M. Características dos frutos e sementes de quatro procedências de *Dipteryx alata* Vogel (Baru). **Cerne**, Lavras, v.6, n.1, p.9-18, 2000.
- BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.E., BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food Science and Technology**, v.28, n.1, p.25–30, 1995.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 12, de 24 de julho de 1978. Aprova norma técnica referente a frutas liofilizadas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 jul. 1978.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº2, de 07 de janeiro de 2002. Aprova o regulamento técnico de substâncias bioativas e probióticos isolados com alegação de propriedades funcional e ou de saúde. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09 jan. 2002.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº18, de 30 de abril de 1999. Aprova o regulamento técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 mai.1999.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 set. 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova o regulamento técnico sobre

rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 dez. 2003.

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition Reviews**, v.56, n.11, p.317-333, 1998.

CAPARINO, O.A.; TANG, J.; NINDO, C.I.; SABLANI, S.S.; POWERS, J.R.; FELLMAN, J.K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. **Journal of Food Engineering**, v.111, n.1, p.135-148, 2012.

CAPITANI, C.; HAUSCHILD, F.A.D.; FRIEDRICH, C.J.; LEHN, D.N.; SOUZA, C.F.V. Caracterização de iogurtes elaborados com probióticos e fibra solúvel. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.8, n.2, p.1285-1300, 2014.

CARPENTER, J.F.; IZUTSU, K.; RANDOLPH, T.W. Freezing- and drying- induced perturbations of protein structures and mechanisms of protein protection by stabilizing additives. **Freezing-Drying of pharmaceutical and biological products**, 1999.

CARVALHO, C.M.C.; GOMES, G.M.S.; NETO, B.A.M.; BARBOSA, M.C.; BONOMO, R.C.F.; PEREIRA, R.G.; SILVA, M.G.C.P.C.; VELOSO, C.M. **Caracterização físico química e propriedades de hidratação da farinha do fruto da pupunheira (*Bactris gasipaes*, kunth)**. IN: I simbrap. I simpósio brasileiro da pupunheira: desenvolvimento com sustentabilidade. Ilhéus: bahia, 2011.

CAZARIN, C.B.B.; SILVA, J.K.; COLOMEU, T.C.; ZOLLNER, R.L.; MARÓSTICA JUNIOR, M.R. Antioxidant capacity and chemical composition of passion fruit peel (*Passiflora edulis*), **Ciência Rural**, v.44, n.9, p.1699-1704, 2014.

CECCHI, H.M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2 ed. Campinas: Unicamp, 2003.

CHEN, X.D.; ÖZKAN, N. Stickiness, functionality, and microstructure of food powders. **Drying Technology**, v.25, n.6, p.969-979, 2007.

CHISTÉ, R.C.; COHEN, K.O.; MATHIAS, E.A.; RAMOA JÚNIOR, A.G.A. Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.4, p.861-864, 2006.

CHOU, D.H.; MORR, C.V. Protein-water interactions and functional properties. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.56, n.1, p.53-62, 1979.

CHUN, S.S.; VATEM, D.A.; LIN, Y.T.; SHETTY, K. Phenolic antioxidants from clonal oregano (*Origanum vulgare*) with antimicrobial activity against *Helicobacter pylori*. **Process Biochemistry**, v.40, n.2, p.809-816, 2005.

CIE - Commission Internationale de l'Eclairage. **Colorimetry**. Vienna: CIE publication, 2 ed., 1996.

COSTA, A.M.; ROQUE-SPECHT, V.R.; CELESTINO, S.C.; CABRAL, Y.O.E.; CABRAL, D.O.E.; DINIZ, J.D.A.S. Estabilidade de compostos fenólicos e flavonóides nas farinhas de jatobá e pequi processadas em diferentes temperaturas. In: XXII Congresso Brasileiro de fruticultura, Bento Gonçalves, outubro, 2012 (a).

COSTA, A.N.; SOARES, F.L.; ROQUE-SPECHT, V.F.; SILVA, D.B.; LIMA, H.C.; DINIZ, J.D.A.S. Estabilidade de antioxidantes na farinha de araticum processada a diferentes temperaturas. In: XXII Congresso Brasileiro de fruticultura, Bento Gonçalves, outubro, 2012 (b).

COUTO, E.M.; MENEZES, C.C.; LIMA JUNIOR, F.A.; CIABOTTI, S. **Caracterização de pães de forma elaborados com adição de farinha de casca de pequi (*Caryocar brasiliense*)**. In: XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2006, Curitiba. Anais... Curitiba: SBCTA-PR - TecArt, 2006. p.1327, 2006.

- COZZOLINO, S.M.F. O papel do zinco no crescimento e desenvolvimento infantil. In: FISBERG, M.; BARROS, M.J.L. **O papel dos nutrientes no crescimento e desenvolvimento infantil**. São Paulo: Sarvier, 2008. p-65-82.
- DEMIRAY, E.; TULEK, Y.; YILMAZ, Y. Degradation kinetics of lycopene,  $\beta$ -carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air Drying. **LWT-Food Science and Technology**, v.50, n.1, p.172-176, 2012.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS **Food energy: methods of analysis and conversion factors**. 2003.
- FENEMMA, O.R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L. **Química de alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre, ARTMED, 2010.900p.
- FERNANDES, A.F.; PEREIRA, J.; GERMANI, R.; OIANO-NETO, J. Effect of the partial replacement of wheat flour for potato skin flour (*Solanum Tuberosum* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, suppl. S, p.56-65, 2008.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FERREIRA, S.M. **Modificação enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz para produção de alimento sem glúten**. Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia de Alimentos). 2012, 169f. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2012.
- FREITAS, M.M.C.; TEIXEIRA, M.A.V.; ORNELLAS, C.B.D. **Obtenção de pão com farinha do mesocarpo interno do pequi (*Caryocar brasiliense*)**. In: XXI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos e XV Seminário Latino Americano e do Caribe de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belo Horizonte, 2008.
- GEANKOPLIS, C.J. **Procesos de transporte y operaciones unitárias**. 3 ed. México: Continental, 1998. 1008p.
- GERASEEV, L.C.; RIBEIRO, F.L.A.; BONFÁ, H.C. RUFINO, L.M.A.; RIBEIRO JÚNIOR, C.S.; DUARTE, E.R. Ruminal degradation kinetics of diets with pequi hulls bran. **Ciência Rural**, v.41, n.9, p.1626-1631, 2011.
- GODOY, H.T.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Carotenoid composition of Brazilian nectarine (*Prunus persica*). **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.1, n.57, p.73-79, 1998.
- GONÇALVES, C.A.A.; LIMA, L.C.O.; LOPES, P.S.N.; PRADO, M.E.T. **Physical, chemico-physical, enzymatic and cell wall characterization during the different development stages of the fig tree fruits** **Food Science and Technology**, v.26, n.1, p.220-229, 2006.
- GONÇALVES, C.R.; LEÃO, M.F. Produção de iogurte com adição das farinhas mistas a partir dos resíduos de maçã, maracujá e uva. **Centro Científico Conhecer**, v.9, n.17; p.3618-3631, 2013.
- GREENFIELD, H.; SOUTHGATE, D.A.T. **Food composition data: production, management and use**. London: Chapman e Hal, 2003. 288p. 2ed.
- GRIEBENOW, K.; KLIBANOV, A.M. Lyophilization-induced reversible changes in the secondary structure of proteins. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.92, n.24, p.10969-10976, 1995.
- GUILLOIN, F.; CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. **Food Research International**, v.33, n.3, p.233-245, 2000.
- GUTKOSKY, L.C. **Caracterização tecnológica de frações de moagem de aveia e efeito de umidade e temperatura de extrusão na sua estabilidade**. 1997. 241p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.



- HEO, A.H.J.; KIM, B.Y.J.; CHUNG, C.D.; KIM, D.D.O. Antioxidant capacities of individual and combined phenolics in a model system. **Food Chemistry**, v.104, n.1, p.87–92, 2007.
- HIRANVARACHAT, B.; DEVAHASTIN, S.; CHIEWCHAN, N. In vitro bioaccessibility of  $\beta$ -carotene in dried carrots pretreated by different methods. **International Journal of Food Science and Technology**, v.47, n.3, p.535–541, 2012.
- JASTER, E.H. **Legume and grass silage preservation. In: Post-harvest physiology and preservation of forages.** Moore, K.J., Kral, D.M., Viney, M.K. (eds). American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin, p.91-115, 1995.
- KOLEVA, I. I.; BEEK, T. A.; LINSSSEN, A.; EVSTATIEVA, L. N. Screening of Plant Extracts for Antioxidant Activity: a Comparative Study of Three Testing Methods. **Phytochemical Analysis**, v.13, n.1, p.8-17, 2002.
- KROKIDA, M.K., MAROULIS, Z.B. Effect of drying method on shrinkage and porosity. **Drying Technology**, v.15, n.10, p.2441–2458, 1997.
- LAGARRIGUE, S.; ALVAREZ, G.; CUVELIER, G.; FLICK, D. Swelling kinetics of waxy maize and maize starches at high temperatures and heating rates. **Carbohydrate Polymers**, v.73, n.1, p.148-155, 2008.
- LEÃO, D.P. **Avaliação comparativa do potencial de farelo de trigo comercial e pericarpo de pequi como substratos de fibras com capacidade antioxidante.** Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). 87p. 2013. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2013.
- LEONID, A.B.; VLADIMIR, P.G.; ANDREW, V.B.; ALEXANDER, M.L.; VALERIY, L.; VLADIMIR, A.K. The investigation of low temperature vacuum drying processes of agricultural materials. **Journal of Food Engineering**, v.74, n.3, p.410-415, 2006.
- LIMA, A. **Caracterização química, avaliação da atividade antioxidante *in vitro* e *in vivo* e identificação dos compostos fenólicos presentes no pequi (*Caryocar brasiliense* Camb).** Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. 182p.
- LIMA, A., SILVA, A.M.O.; TRINDADE, R.A.; TORRES, R.P.; MANCINI FILHO, J. Composição química e compostos bioativos presentes na polpa e na amêndoa do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, n.3, p.695-698, 2007.
- LIMA, T.R.F.; FARIA, T.M.; CORDEIRO, D.A.; CASTRO, A.L.A. **Avaliação bromatológica do resíduo de pequi.** In: IX Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2012, Goiânia, GO. Anais do IX CONPEEX (CONPEEX 2012), p.8607-8617. Goiânia: UFG/SIEC/PROEC, 2012.
- LIST, P.H.; SCHMIDT, P.C. **Phytopharmaceutical Technology.** Florida, CRS Press, 2000.
- LIU, Q. **Starch Modifications and Applications.** In: CUI, S. W (Ed.). Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties, and Applications, CRC Press, 2005. p.357-406.
- MACEDO JÚNIOR, G.L.; ZANINE, A.M.; BORGES, I.; PÉREZ, J.R.O. Fiber quality for ruminant diets. **Ciência Animal**, v.17, n.1, p.7-17, 2007.
- MACHADO, M.T.C, MELLO, B.C.B.S.; HUBINGER, M.D. Study of alcoholic and aqueous extraction of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) natural antioxidants and extracts concentration by nanofiltration. **Journal of Food Engineering**, v.117, n.4, p.450–457, 2013.

- MAGA, J.A. Phytate; its chemistry, occurrence, food interaction, nutritional significance and methods of analysis. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.30, n.1, p.1-9, 1982.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba/SP: Potafos, 1997.
- MANTSCH, H.H.; CHAPMAN, D. **Infrared Spectroscopy of Biomolecules**. John Wiley e Sons, 1996, 203p.
- MATTOS, L.L.; MARTINS, I.S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, v.34, n.1, p.50-55, 2000.
- MEDAETS, J.P.; GREENHALGH, A.A.; LIMA, A.C.M.A.; SOUZA, D.F. **Agricultura familiar e uso sustentável da agrobiodiversidade nativa: Programa Biodiversidade Brasil-Itália**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2006. 172p.
- MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: Fahey Junior, G. C. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: Wisconsin, 1994. p. 448-478.
- MINGUITA, A.P.S. **Produção e caracterização de massa alimentícia a base de trigo, arroz polido e feijão carioca com casca, biofortificados**. 2013.120 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- MONTEIRO, S.S.; COPETTI, C.; NOGARA, G.; DALLA NORA, F.M.; PRESTES, R. C. ROSA, C.S. Natural antioxidant from Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) peel in the production of sausage. **International Food Research Journal**, v.21, n.5, p.1963-1970, 2014.
- MONTENEGRO, F. M.; ORMENESE, R. C. S. **Avaliação da Qualidade Tecnológica da Farinha de Trigo**. Campinas: Cereal Chocotec - ITAL, 2009.
- MOSER, L.E. **Post-harvest physiological changes in forage plants**. In: **Post-harvest physiology and preservation of forages**. Moore, K.J., Kral, D.M., Viney, M.K. (eds). American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin, p.1-19, 1995.
- MOSER, L.E. Quality of forages as affected by post-harvest storage and processing. In: **Crop quality storage, and utilization**. ASA, CSSA. Madison, Wisconsin. p.227- 260, 1980.
- MOTA, W.F.; FINGER, F.L.; CASALI, V.W.D. **Olericultura: melhoramento genético do quiabeiro**. Viçosa: UFV, 2000. 144p.
- NACZK, M. SHAHIDI, F. Review: Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography**, v.1054, n.1, p.95-111, 2004.
- OLIVEIRA, L. **Probióticos, prebióticos, e simbióticos: definição, benefícios e aplicabilidade industrial**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, 2014.
- OLIVEIRA, L.F.C. Espectroscopia molecular. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n.4, 2001.
- OLIVEIRA, M.E.B.; GUERRA, N.B.; MAIA, A.H.N.; ALVES, R.E.; MATOS, N.M.S.; SAMPAIO, F.G.M.; LOPES, M.M.T. Chemical and physical-chemical characteristics in pequi from the Chapada do Araripe, Ceará, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, n.1, p.114-125, 2010.
- OLIVEIRA, M.N.; SIVIERI, K.; ALEGRO, J.H.A.; SAAD, S.M.I. Aspectos tecnológicos de alimentos funcionais contendo probióticos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.38, n.1, p.1-21, 2002.
- ORIKASA, T.; WU, L.; ANDO, Y.; MURAMATSU, Y.; ROY, P.; YANO, T.; SHIINA, T.; TAGAWA, A. Hot Air Drying Characteristics of Sweet Potato Using

- Moisture Sorption Isotherm Analysis and Its Quality Changes During Drying. **International Journal of Food Engineering**, v.6, n.2, article 12, 2010.
- OSBORNE, D.R.; VOOGT, P. **The analyses of nutrient in foods**. London: Academic, 1978. 158p. p.47, 156-158.
- PAN, G.X.; SPENCER, L.; LEARY, G.J. Reactivity of ferulic acid and its derivative towards hydrogen peroxide and peracetic acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.47, n.8, p.3325–3331, 1999.
- PAZ, J.G. PACHECO, P., SILVA, C.O., PASCOAL, G.B. Análise da composição nutricional e de parâmetros físico-químicos do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) *in natura*. **Linkania Master**, v.1, n.8, p.73-86, 2014.
- PERIOTTO, D. **Tabela de valores de absorção no espectro de infravermelho para compostos orgânicos**. UFSCAR, 2012.
- PERRY, H.R.; CHILTON, C.H. **Chemical engineers handbook**. 5ed. Tokyo: McGraw-Hill Kogashua, 1973.
- PESSOA, M.S.; AVELAR, J.C.S.; NASCIMENTO, A.L.H.; SILVA, K.L; SOARES, A.C.M.; CAMARGO, A.C.S.; FARIA FILHO, D.E. Performance of Nile tilapia fed with bran made of pequi peel. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n.2, p.547-552, 2013.
- PESSOA, M.S.; PEREIRA, A.K.S.; VIEIRA, L.C.; CAMARGO, A.C.S. **Digestibilidade dos nutrientes da casca de pequi (*caryocar brasiliensis* camb.) para tilápias do nilo (*oreochromis niloticus*)**. In: ZOOTEC, 19., 2009, Águas de Lindoia. Anais... Águas de Lindoia, Associação Brasileira de Zootecnistas, 2009.
- QUEIROZ, E.R.; ABREU, C.M.P.; SANTOS, C.M.; SIMÃO, A.A. Chemical and phytochemical composition of flours from skin and seeds of ‘Bengal’ lychee (*Litchi chinensis* Sonn). **Ciência Rural**, v.45, n.2, p.329-334, 2015.
- RIBEIRO, D.P. **Avaliação comparativa do potencial de farelo de trigo comercial e pericarpo de pequi como substratos na produção de fibras com capacidade antioxidante**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- RIBEIRO, G.P. **Elaboração e caracterização de farinhas de quinoa, linhaça dourada, e soja para aplicação em biscoitos doce sabor coco**. 2014. 50f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.
- RIGUEIRA, J.A. **Pequi: cultivo, caracterização físico-química e processamento**. 2003. Monografia (Especialização em Qualidade em Alimentos) – Universidade de Brasília, DF, 2003.
- RODRIGUES, M.T. Uso de fibras em rações de ruminantes. In: CONGRESSO NACIONAL DOS ESTUDANTES DE ZOOTECNIA, 1998, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p.139-171, 1998.
- ROESLER, R.; CATHARINO, R.R.; MALTA, G.L.; EBERLIN, M.N.; PASTORE, G. Antioxidant activity of *Caryocar brasiliense* (pequi) and characterisation of components by electrospray ionization mass spectrometry. **Food Chemistry**, v.110, n.3, p.711–717, 2008.
- ROESLER, R.; MALTA, L.G.; CARRASCO, L.C.; HOLANDA, R.B.; SOUSA, C.A.S.; PASTORE, G.M. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.1, p.53-60, 2007.
- ROGINSKY, V; LISSI, E.A. Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. **Food Chemistry**, v.92, n.2, p.235-254, 2005.
- SCHNEEMAN, B.O. Soluble vs insoluble fiber-different physiological-responses. **Food Technology**, v.41, n.2, p.81-82, 1987.

- SGARBIERI, V.C. **Alimentação e Nutrição: fator de saúde e desenvolvimento**. São Paulo: editora Almed, 1987. 387p.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 235p.
- SILVA, J.S. **Barras de cereais elaboradas com farinha de sementes de abóbora**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- SILVA, V.M. **Estudo da hidrólise enzimática, microencapsulação e secagem por spray dryer da carne de mexilhão** 2011. Tese (doutorado Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2011.
- SILVERSTEIN, R.M.; BASSLER, G.C.; MORRILL, T.C. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 5 ed., Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 1994.
- SINGLETON, V.L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTOS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, n.299C, p.152-178, 1999.
- SIQUEIRA, B.S.; ALVES, L.D.; VASCONCELOS, P.N.; DAMIANI, C.; SOARES JÚNIOR, M.S. Pectina extraída de casca de pequi e aplicação em geleia *light* de manga. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, n.2, p.560-567, 2012.
- SIQUEIRA, B.S.; SOARES JÚNIOR, M.S.; FERNANDES, K.F.; CALIARI, M.; DAMIANI, C. Effect of soaking on the nutritional quality of pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) peel flour. **Food Science and Technology**, v.33, n.3, p.500-506, 2013.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3562-3577, 1992.
- SOARES JÚNIOR, M.S.; BASSINELLO, P.Z.; CALIARI, M.; REIS, R.C.; LACERDA, D.B.C.L.; KOAKUZU, S.N. Development and chemical characterization of flour obtained from the external mesocarp of "pequi" fruit. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.4, p.949-954, 2010.
- SOARES JÚNIOR, M.S.; REIS, R.C.; BASSINELLO, P.Z.; LACERDA, D.B.C.; KOAKUZU, S.N.; CALIARI, M. Qualidade de biscoitos formulados com diferentes teores de farinha de casca de pequi. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n.2, p.98-104, 2009.
- SOARES, A.G.; FREIRE JUNIOR, M.; SIQUEIRA, R.S. **Curso de higiene e sanificação na indústria de alimentos**. Rio de Janeiro: Embrapa – CTAA, 97 p. 1995.
- SOUSA, C.M.M.; SILVA, H.R.; VIEIRA JÚNIOR, G.M.; AYRES, M.C.C.; COSTA, C.L.S.; ARAÚJO, D.S.; CAVALCANTE, L.C.D.; BARROS, E.D.S.; ARAÚJO, P.B.M.; BRANDÃO, M.S.; CHAVES, M.H. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, v.30, n.2, p.351-355, 2007.
- TACO - **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4. ed. Campinas: NEPA UNICAMP, 2011. 161p.
- TONON, R.V.; BRABET, C.; HUBINGER, M.D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v.88, n.3, p.411-418, 2008.
- TORRES, L.L.G.; EL-DASH, A.A.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R.; GERMANI, R.; MIGUEZ, M. 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**, v.23, n.2, p.273-290, 2005.

- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Comstock Publishing, 1994. 476p.
- VERA, R.; NAVES, R.V.; NASCIMENTO, J.L.; CHAVES, L.J.; LEANDRO W.M.; SOUZA, E.R.B. Caracterização física de frutos do pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.) no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.2, p.71-79, 2005.
- VILAS BOAS, E.V.B. **Avaliação nutricional de alimentos**. Lavras, 1999. 51p. Monografia (Especialização em Nutrição Humana e Saúde), UFLA/FAEPE. 1999.
- WANG, W. Lyophilization and development of solid protein pharmaceuticals. **International journal of pharmaceuticals**, v.203, n.1, p.1-60, 2000.
- WU, L.; ORIKASA, T.; OGAWA, Y.; TAGAWA, A. Vacuum drying characteristics of eggplants. **Journal of Food Engineering**, v.83, n.3, p.422-429, 2007.
- ZANOTTO, D.L.; BELLAVER, C. **Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1996. p.1-5. (Comunicado técnico, 215).
- ZOTARELLI, M.F. **Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Florianópolis, SC, 2014. 165p.

## CAPÍTULO IV

# IOGURTE NATURAL ENRIQUECIDO COM FARINHA DO MESOCARPO DO PEQUI (*Caryocar brasiliense* Cambess)

### RESUMO

Objetivou-se neste estudo realizar o enriquecimento de iogurte natural com farinha do mesocarpo do pequi, avaliar as propriedades físico-químicas e sensoriais. O enriquecimento em iogurte natural comercial foi feito em condições assépticas, com farinha do mesocarpo de pequi liofilizada (FMP), nos níveis de zero (controle), 0,5% (Tratamento 1), 1% (Tratamento 2) e 1,5% (Tratamento 3). Quanto maior o enriquecimento de FMP em iogurte, maior a acidez titulável, menor o pH, menor sínerese e maior a capacidade de retenção de água, características favoráveis à conservação durante o armazenamento. As maiores concentrações de FMP resultam em tendência à cromaticidade amarela nos iogurtes, sem diferenças na percepção dos provadores. A contagem de bactérias lácticas viáveis é da magnitude  $10^8$  UFC.mL<sup>-1</sup>, sem crescimento de fungos, leveduras e coliformes nos iogurtes. A FMP liofilizada possui boa aceitação sensorial em relação aos parâmetros cor, aroma, textura e aparência, entre 7 e 8. Quando enriquecida em iogurte natural no nível de 1,5%, o sabor é o único parâmetro com menor aprovação devido ao sabor amargo residual, provavelmente pela ação de fenólicos como taninos, porém com maior intenção de compra. Sendo assim, o iogurte natural enriquecido com 1,5% de FMP liofilizada é um potencial novo produto ao mercado de alimentos funcionais prebióticos.

**Palavras-chave:** Prebiótico. Alimento funcional. Capacidade de retenção de água. Análise sensorial.

### ABSTRACT

This study aimed to evaluate the plain yogurt enriched with mesocarp pequi flour (MPF), and to evaluate the physicochemical and sensory properties. The commercial plain yogurt enrichment was done under aseptic conditions with freeze-dried mesocarp pequi flour (MPF), at zero (control), 0.5% (Treatment 1), 1% (Treatment 2), and 1.5% (Treatment 3) levels. The greater levels of MPF in yoghurt, the greater titratable acidity, lower pH, reduced syneresis, and increased water holding capacity, favorable characteristics for conservation during storage. Higher concentrations of MPF result in tendency to yellow chromaticity in yogurt, with no perception differences by the tasters. The count of viable lactic acid bacteria is  $10^8$  colony forming unit (CFU).mL<sup>-1</sup>, without no growth of fungi, yeasts, and coliforms on yogurt. The freeze-dried MPF has good sensory acceptance, between 7 and 8 in hedonic scale, concerning to the color, aroma, texture, and appearance parameters. When plain yoghurt is enriched at 1.5% level, flavor is the only parameter with lower approval, due to residual bitterness, probably due to the presence of phenolic compounds as tannins, but this plain yogurt has the highest purchase intent. Thus, the plain yogurt enriched with 1.5% of freeze-dried MPF is a new potential product to the prebiotic functional food market.

**Keywords:** Prebiotic. Functional food. Water holding capacity. Sensory analysis.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A tendência atual do consumo de alimentos é cada vez maior na direção de produtos naturais e saudáveis. Outra perspectiva que tem influenciado o setor produtivo é a de mudanças de hábitos de consumo, como a busca por praticidade e conveniência, produtos com baixo teor de gordura e crescente consciência com relação aos aspectos nutricionais (ZOCC & GOMES, 2007).

Além das características funcionais e nutricionais em destaque, as sensoriais também são importantes, pois recebem influência da qualidade da matéria-prima e processamento, estando diretamente relacionadas à intenção de compra do consumidor. Essa preocupação decorrente da tendência atual de ingerir produtos naturais ressalta a demanda crescente por novos produtos, destacando-se, entre eles, o iogurte funcional (OLIVEIRA et al., 2008).

Iogurte é o produto resultante da fermentação do leite pasteurizado ou esterilizado, realizada com cultivos simbióticos obrigatórios de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e outros opcionalmente, e adição máxima de ingrediente não lácteo em 30 g.100 g<sup>-1</sup> (BRASIL, 2007).

Para o desenvolvimento de novos produtos, os resíduos alimentícios são fontes ainda pouco exploradas, apesar de resultar em benefícios à saúde humana (DIMITRIOS, 2006). Entre os resíduos potenciais, o mesocarpo do pequi vem sendo estudado para inclusão na alimentação humana, devido ao elevado teor de fibras e de carboidratos, propício à obtenção de farinha, e ao grande potencial antioxidante (LEÃO, 2013).

A adição de fibras em alimentos é uma alternativa para compensar deficiências na dieta (SOARES JÚNIOR et al., 2010). As fibras alimentares atuam como prebióticos, e, por não serem digeríveis, estimulam a proliferação de bactérias desejáveis no cólon, podem inibir a multiplicação de patógenos, reduzem os níveis de colesterol, atuam na prevenção ao câncer, aumento da função intestinal, intervenção no metabolismo de lipídios e carboidratos e fisiologia do trato gastrointestinal (PHILLIPS et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2014).

Assim, objetivou-se com este estudo avaliar a inclusão da farinha do mesocarpo do pequi como fonte de enriquecimento em iogurtes naturais, e avaliar as propriedades físico-químicas e sensoriais deste novo produto.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Obtenção do Iogurte

O iogurte natural integral adoçado com sacarose foi adquirido em comércio local do município de Rio Verde, Goiás, Brasil, e todas as unidades pertenciam ao mesmo lote e à mesma marca. A composição centesimal é apresentada na Tabela 4.1. Em seguida, o iogurte foi transportado em caixa isotérmica contendo gelo e acondicionado sob refrigeração de  $5\pm 1$  °C até o momento do enriquecimento com FMP e das análises no Laboratório de Produtos de Origem Animal do IF Goiano - Câmpus Rio Verde.

**TABELA 4.1.** Composição centesimal do iogurte natural comercial.

<b>Informação nutricional</b>	<b>Quantidade por porção (200g)</b>	<b>%VDR*</b>
Valor energético	160 Kcal (672 KJ)	8
Carboidratos	29,0 g	10
Proteínas	5,2 g	7
Gorduras totais	2,5 g	5
Gorduras Saturadas	1,6 g	7
Sódio	84,0 mg	4
Cálcio	191,0 mg	19

\*Valor diário de referência em uma dieta de 2.000 Kcal.

### 4.2.2 Obtenção da Farinha do Mesocarpo do Pequi

**TABELA 4.2.** Composição centesimal da farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.

<b>Informação nutricional</b>	<b>Quantidade por 100g</b>	<b>%VDR*</b>
Valor energético	397,98 Kcal (1666,25 KJ)	19,90%
Teor de água	2,95 g	---
Carboidratos	93,02 g	31,01%
Fibra alimentar total	44,57 g	178,28%
Fibra alimentar solúvel	13,30 g	---
Fibra alimentar insolúvel	31,27 g	---
Proteínas	2,69 g	3,59%
Gorduras totais	1,78 g	3,24%
Minerais	2,43 g	---
Fósforo	1,07 mg	0,15%
Potássio	9,67 mg	---
Enxofre	1,10 mg	---
Cálcio	0,70 mg	0,07%
Magnésio	0,50 mg	0,19%
Cobre	0,05 mg	5,55%
Ferro	1,11 mg	7,93%
Manganês	1,75 mg	76,09%
Zinco	0,45 mg	6,43%
Boro	4,71 mg	---

\*Valores diários de referência de nutrientes (BRASIL, 2003).



A FMP foi obtida por congelamento do mesocarpo de pequi em ultrafreezer a -80 °C (Terroni<sup>®</sup>), seguida de secagem em liofilizador (Terroni<sup>®</sup>/ Enterprise II).

A farinha obtida foi triturada em gral e pistilo e submetida à tamisação de 0,250 mm (Bertel<sup>®</sup>), em seguida foi embalada em saco de polietileno de baixa densidade e acondicionada sob abrigo de luz, calor e umidade. A composição centesimal é apresentada na Tabela 4.2.

#### **4.2.3 Enriquecimento do Iogurte Natural**

Os iogurtes naturais foram enriquecidos com a FMP liofilizada em condições ambientais assépticas em capela de fluxo laminar horizontal de luz UV e uso de utensílios previamente sanitizados com água clorada a 150 ppm e álcool 70%.

Foram formulados quatro Tratamentos, conforme o nível de adição da FMP: Tratamento 1 - iogurte natural sem adição de FMP (controle); Tratamento 2 – iogurte natural adicionado de 0,5% de FMP; Tratamento 3 – iogurte natural adicionado de 1% de FMP; e Tratamento 4 – iogurte natural adicionado de 1,5% de FMP.

#### **4.2.4 Análises Físico-Químicas**

A acidez titulável foi determinada por titulação ácido-alcalimétrica, com indicador ácido-base fenolftaleína 1%, e base hidróxido de sódio 0,1N, em solução aquosa de 1:10, até aparecimento de coloração rósea persistente por 30 segundos (BRASIL, 2006). Os resultados foram expressos em g de ácido láctico.100 g<sup>-1</sup>.

A avaliação do pH foi realizada em potenciômetro digital de bancada (LUCA<sup>®</sup>/210P), previamente calibrado, com leitura direta por meio da imersão do eletrodo e sensor de temperatura nos diferentes iogurtes (IAL, 2005).

A determinação da sinérese foi realizada por filtração e diferença gravimétrica, em que 30 gramas de iogurte foram depositados em papel-filtro sobre funil para drenagem por cinco horas e posterior pesagem (RIENER et al., 2010).

A capacidade de retenção de água (CRA) foi determinada pela relação entre a massa do precipitado e a massa da amostra (PARNELL-CLUNIES et al., 1986).

#### **4.2.5 Análises Colorimétricas Instrumentais**

A cor foi determinada instrumentalmente em colorímetro (HunterLab<sup>®</sup>/ ColorFlex EZ) previamente calibrado, ajustado para iluminação luz do dia D65 e ângulo

de observação de  $10^\circ$ , conforme sistema CIELab (CIE, 1996). De acordo com o modelo de cor HSB, o espaço colorimétrico é definido pelas coordenadas retangulares  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , correspondentes à luminosidade preto(0)/branco(100), cromaticidade verde(-80)/vermelho(+100) e azul(-50)/amarelo(+70), respectivamente, e pelas coordenadas cilíndricas saturação da cor chroma ( $C^*$ ) e tonalidade cromática pelo ângulo Hue ( $^\circ h$ ), calculadas pelas respectivas fórmulas  $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$  e  $\arctang(b^*/a^*)$  (ABNT, 1992).

A espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) foi realizada na Central Analítica, no IF Goiano - Câmpus Rio Verde, com uso de espectrofotômetro Frontier/PerkinElmer<sup>®</sup>, com varredura de  $500\text{ cm}^{-1}$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$ .

#### 4.2.6 Análises Microbiológicas

A contagem de bactérias lácticas foi realizada pela técnica *pour plate*, em meio de cultura MRS (MACEDO, 1997). Foram pesados 25 g da amostra do iogurte e adicionados 225 mL de água peptonada 0,1%. Após a homogeneização, procedeu-se à preparação de diluições seriadas de  $10^{-1}$  a  $10^{-7}$ , inoculando-se, em seguida, 1 mL de cada diluição em placas de Petri esterilizadas, incubadas a  $35^\circ\text{C}$  por três dias. Após este período, procedeu-se à contagem das placas com crescimento entre 25 e 250 colônias com contador eletrônico. Os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônia por mililitro ( $\text{UFC.mL}^{-1}$ ).

Os coliformes totais foram quantificados pela técnica do número mais provável, expresso em  $\text{NMP.mL}^{-1}$  (HUNT & RICE, 2005). Foi feito um teste presuntivo por inoculação de alíquotas de amostra (25 g diluídos em 225 mL de água peptonada 0,1%) em séries de três tubos de ensaio, contendo tubos de *Durhan* e caldo lauril triptose (LST), que foram incubados, posteriormente, a  $35^\circ\text{C}$  por 24 a 48 horas.

A contagem de fungos filamentosos e leveduras foi realizada pela técnica *spread plate*, em meio BDA, incubado a  $25^\circ\text{C}$ , por cinco dias. O resultado foi expresso em unidades formadoras de colônia ( $\text{UFC.mL}^{-1}$ ) (ICMSF, 2000).

#### 4.2.7 Análises Sensoriais

As análises sensoriais da farinha do mesocarpo do pequi liofilizada e dos iogurtes enriquecidos foram aprovadas pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Instituto Federal Goiano, parecer n<sup>o</sup>20/2013, e todos os provadores foram previamente

instruídos quanto aos procedimentos das análises e assinaram Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

As análises foram realizadas com 50 provadores não treinados entre discentes, docentes e técnico-administrativos do IFGoiano - Câmpus Rio Verde, em cabines individualizadas, sob luz branca, no Laboratório de Análise Sensorial. Os Tratamentos foram codificados com três dígitos aleatórios e ordenados em delineamento inteiramente casualizado.

#### **4.2.7.1 Análise sensorial do iogurte enriquecido com FMP**

Os iogurtes enriquecidos com FMP foram servidos em copos plásticos de capacidade 50 mL, com 20 mL de iogurte, em temperatura refrigerada (<10 °C), sobre bandejas brancas de isopor. Foi oferecida água para limpeza do palato durante a análise.

Realizou-se teste afetivo de aceitação em escala hedônica de 9 (nove) pontos, onde o valor 1 (um) representava "desgostei muitíssimo" e 9 (nove) "gostei muitíssimo", com base em notas dos provadores atribuídas aos atributos sabor, cor, aroma, textura e aparência.

Foi feito o teste de comparação, que avaliou o grau de diferença entre a amostra controle e os demais Tratamentos de iogurte enriquecido com FMP.

A intenção de compra dos provadores foi mensurada por meio de escala hedônica de 5 (cinco) pontos, em que o valor 1 (um) significava "certamente compraria" e o valor 5 (cinco) "certamente não compraria" (IAL, 2005).

#### **4.2.7.2 Análise sensorial da farinha do mesocarpo do pequi liofilizada**

A farinha do mesocarpo do pequi liofilizada (FMP) foi servida aos provadores em potes plásticos cotendo 10 g, sobre bandeja branca de isopor. Foi oferecida água para limpeza do palato durante a análise.

Para a análise sensorial da farinha, foi realizado o teste de aceitação do produto, uma escala hedônica de 9 (nove) pontos, em que o valor 1 (um) representava "desgostei muitíssimo" e 9 (nove), "gostei muitíssimo", para os atributos cor, aroma, textura e aparência.

Um questionário foi aplicado aos provadores sobre o conhecimento da importância das fibras na dieta, o consumo diário e a intenção de consumo da FMP.

#### 4.2.8 Análises Estatísticas

As análises de acidez, pH, sinérese, CRA, cor e sensorial foram avaliadas por delineamento inteiramente casualizado, por meio de teste de médias Tukey, a 5% de significância, em programa estatístico Sisvar<sup>®</sup> (FERREIRA, 2011).

As análises microbiológicas foram apresentadas de forma descritiva. Todas as análises físico-químicas e microbiológicas foram feitas em triplicata.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Análises Físico-Químicas

Os valores de acidez titulável, pH, sinérese e capacidade de retenção de água apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos (TABELA 4.3).

**TABELA 4.3.** Valores médios e desvio padrão da acidez titulável, pH, sinérese e capacidade de retenção de água (CRA) de iogurte natural enriquecido com farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.

Tratamentos	Acidez Titulável (g de ácido láctico/100g)	pH	Sinérese (%)	CRA (%)
Controle	1,05 ± 0,03 d	4,01 ± 0,01 a	43,87 ± 0,52 a	56,12 ± 0,52 d
0,5% FMP	1,12 ± 0,01 c	3,95 ± 0,00 b	36,50 ± 1,16 b	63,50 ± 1,16 c
1,0% FMP	1,18 ± 0,02 b	3,85 ± 0,03 c	31,41 ± 0,31 c	68,58 ± 0,31 b
1,5% FMP	1,24 ± 0,01 a	3,78 ± 0,01 d	26,77 ± 1,62 d	73,22 ± 1,16 a
<b>CV (%)</b>	<b>1,06</b>	<b>0,41</b>	<b>3,01</b>	<b>1,60</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Verificou-se que, quanto maior a concentração de FMP adicionada, maior foi a acidez titulável. Este parâmetro variou de 1,05 a 1,24 g de ácido láctico.100 g<sup>-1</sup>, estando de acordo com os limites preconizados pela legislação, que é de, no mínimo, 0,6 g de ácido láctico.100 g<sup>-1</sup> e de, no máximo, 1,5 g de ácido láctico.100 g<sup>-1</sup> de iogurte (BRASIL, 2007). Também foram relatados valores semelhantes por Quintino (2012) em iogurte de polpa de maracujá e iogurte de suco artificial de maracujá, de 1,01 e 1,44 g.100 g<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os maiores níveis de concentração de farinha significaram menores valores de pH, relação inversamente proporcional à acidez. Os valores de pH decresceram de 4,01 (controle) a 3,78 (maior inclusão de FMP).

Gonçalves e Leão (2013) relataram pH de 4,2; 4,54 e 4,6 na elaboração de iogurtes com adição de farinhas, respectivamente, de casca de maracujá, casca de uva e bagaço de maçã. Bartnikowsky et al. (2014) elaboraram iogurte simbiótico com 3% de inulina e 1% de farinha de casca de jabuticaba, tendo o pH final sido de 2,95, principalmente pela adição de 16% de preparado de jabuticaba.

Percebe-se que a característica da FMP observada em estudos preliminares de pH de 4,02 e acidez de 4,84 g.100 g<sup>-1</sup>, influenciou nos parâmetros dos iogurtes elaborados com este subproduto, elevando a acidez e reduzindo o pH.

A sinérese diminuiu com a adição de FMP em maiores níveis (de 43,87% para 26,77%), enquanto a CRA aumentou (56,12% para 73,22%).

A sinérese e a capacidade de retenção de água (CRA) apresentam valores médios inversamente proporcionais, conforme relatado na literatura, e a susceptibilidade à sinérese tende a diminuir com o aumento da matéria sólida do iogurte (JAROS & ROHM, 2003). A sinérese espontânea é resultado da contração natural do gel e está relacionada com a instabilidade da rede proteica, que perde a capacidade de ligar a fase aquosa do produto (LUCEY et al., 2002).

Ou seja, quanto maior a adição de FMP, maior a CRA e menor a sinérese, característica tecnológica desejável aos iogurtes, pela potencial atuação como espessante, estabilizante e emulsificante decorrente dos elevados índices de absorção da FMP, de IAA de 7,58 g.g<sup>-1</sup>, IAL de 9,61 g.g<sup>-1</sup> e IAO de 5,01 g.g<sup>-1</sup>, e principalmente pela função prebiótica devido em razão do elevado teor de fibras, de 44,57 g.100 g<sup>-1</sup>.

#### 4.3.2 Análises Colorimétricas Instrumentais

Os valores dos parâmetros de luminosidade L\*, cromaticidade a\* e cromaticidade b\*, Chroma e Hue apresentaram diferenças entre os tratamentos de iogurtes controle e com adição de farinha do mesocarpo de pequi (TABELA 4.4).

**TABELA 4.4.** Valores médios e desvio padrão das coordenadas colorimétricas de iogurte natural enriquecido com farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.

Tratamentos	L*	a*	b*	Chroma	°Hue
Controle	88,56±0,12a	-1,92±0,01d	11,12±0,10c	11,28±0,01c	80,20±0,10d
0,5% FMP	77,02±0,06b	2,15±0,06c	24,28±0,01b	24,37±0,04b	82,31±0,14c
1% FMP	74,85±0,06b	3,13±0,03b	26,71±0,02a	26,90±0,14a	83,32±0,05b
1,5% FMP	69,42±0,03c	3,70±0,01a	27,43±0,56a	27,68±0,57a	84,94±0,05a
<b>CV (%)</b>	<b>0,22</b>	<b>3,45</b>	<b>1,32</b>	<b>1,33</b>	<b>0,22</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

A coordenada de luminosidade  $L^*$  diminuiu no iogurte com a adição de FMP, indicando ligeiro escurecimento.

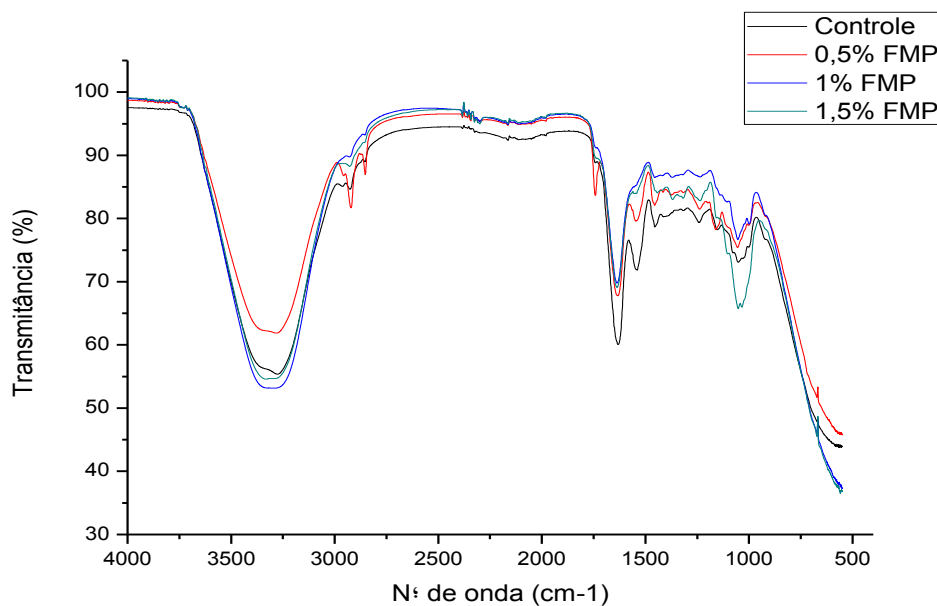
Ao avaliar a cromaticidade  $a^*$ , observou-se que com a adição da farinha do mesocarpo do pequi, esta coordenada passou de valor negativo (controle) para valores positivos crescentes. O Tratamento controle, somente iogurte natural, apresentou coloração com leve tendência ao verde, característica de produtos lácteos pela presença da riboflavina e vitamina  $B_{12}$  (MESTDAGH et al., 2011). A adição da FMP interferiu mais pronunciadamente neste parâmetro da cor, com leve tendência ao vermelho.

Os valores da coordenada de cromaticidade  $b^*$  apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ) entre si, tendo sido verificado que maior a adição da FMP, maiores os valores, com tendência ao amarelo.

Pimentel et al. (2012), ao avaliar iogurte pró-biótico com frutanos tipo inulina de diferentes graus de polimerização, obtiveram resultados semelhantes ao desta pesquisa, com cromaticidade tendendo ao vermelho e amarelo.

Tanto a coordenada  $C^*$  como Hue aumentaram conforme a adição de FMP, cujos valores confirmaram os resultados das coordenadas retangulares, indicando maior intensidade da cor e tom mais próximo ao amarelo. Este fato se deve à presença de compostos carotenoides que têm essas características de cor em iogurtes (TONIAZZO, 2013) e estão presentes no pequi (AZEVEDO-MELEIRO & RODRIGUEZ-AMAYA, 2004).

Na Figura 4.1 estão apresentados os espectros de infravermelho dos iogurtes elaborados com farinha do mesocarpo de pequi. Observa-se o comportamento dos espectros dos diferentes Tratamentos de iogurte enriquecidos com FMP, que evidenciam mistura complexa de componentes em decorrência das várias bandas formadas, principalmente na região de 1500 a 1000  $\text{cm}^{-1}$ , onde existem informações de diversos grupos funcionais com sinais sobrepostos. Isto dificulta a atribuição de uma determinada banda a uma exclusiva função química.



**FIGURA 4.1.** Espectros na região próxima de infravermelho de iogurte natural enriquecido com farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.

A região de  $2995\text{ cm}^{-1}$  a  $2830\text{ cm}^{-1}$  se refere aos modos normais de vibração dos grupos  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$  de hidrocarbonetos (MANTSCH & CHAPMAN, 1996). Nesta região, as bandas identificadas podem ser características de lipídios das amostras.

Na região de  $1700\text{ cm}^{-1}$  a  $1590\text{ cm}^{-1}$ , está relacionada a amida I da proteína que representa 80% da vibração do estiramento  $\text{C}=\text{O}$  (MANTSCH & CHAPMAN, 1996). Observa-se que a banda referente ao controle foi mais acentuada, indicando maior concentração deste composto.

Na região  $1190\text{ cm}^{-1}$  a  $955\text{ cm}^{-1}$ , percebem-se as vibrações das ligações  $\text{C}-\text{O}-\text{C}$  de polissacarídeos (MANTSCH & CHAPMAN, 1996). Nota-se que o sinal mais proeminente foi o do iogurte com adição de 1,5% de FMP, sugerindo então maior concentração destes carboidratos neste Tratamento, possivelmente também por efeito da maior concentração de fibras alimentares.

### 4.3.3 Análises Microbiológicas

A contagem de bactérias lácticas viáveis (TABELA 4.5) apresentou resultados satisfatórios e ficou acima do limite mínimo estabelecido pela legislação, de  $10^7\text{ UFC.mL}^{-1}$  (BRASIL, 2007). Segundo Brandão et al. (2011) a adição de fibras solúveis influencia positivamente a viabilidade de *Lactobacillus acidophilus*.

**TABELA 4.5.** Análise microbiológica de iogurte natural enriquecido com farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.

<b>Micro-organismo</b>	<b>Contagem</b>
Bactérias lácticas viáveis	$2,3 \pm 3,60 \times 10^8$ UFC.mL <sup>-1</sup>
Fungos	Ausente
Leveduras	Ausente
Coliformes totais	Ausente

Segundo Silva & Ueno (2013), em estudo sobre a viabilidade de bactérias lácticas em iogurtes comerciais em função da validade, foram encontrados valores que variaram entre  $1,1 \times 10^6$  e  $9,0 \times 10^7$  UFC.mL<sup>-1</sup>, sendo que 41,7% das amostras apresentaram população menor que  $10^7$  UFC.mL<sup>-1</sup>.

Para fungos e leveduras nos iogurtes enriquecidos com FMP, não foram encontradas colônias, permanecendo dentro dos padrões, de acordo com a Instrução Normativa n°46/2007, que estabelece o valor máximo de  $2,0 \times 10^2$  UFC.mL<sup>-1</sup> (BRASIL, 2007).

Moreira et al. (1999) afirmaram que as leveduras são uma das maiores fontes de contaminação dos iogurtes, já que o pH ácido inibe o crescimento de outros micro-organismos, e em seus estudos os valores ultrapassaram o limite estabelecido para esse produto em 10,63% das amostras analisadas. O não crescimento de leveduras entre os diferentes Tratamentos foi bastante satisfatório, uma vez que o enriquecimento de FMP nos iogurtes resultou em queda do pH.

A contagem de coliformes totais foi ausente, tanto na amostra controle quanto nos iogurtes enriquecidos. Os resultados estão em conformidade com o padrão estabelecido pela legislação vigente, com valor máximo de  $1,0 \times 10^2$  UFC.mL<sup>-1</sup> (BRASIL, 2007). Bortolozo & Quadros (2007) elaboraram iogurtes com adição de inulina e sucralose e encontraram resultados de coliformes termotolerantes e coliformes totais menores que  $4 \times 10$  UFC.mL<sup>-1</sup>.

Ausência de leveduras e fungos filamentosos em iogurte é indicativo de práticas sanitárias satisfatórias na fabricação e embalagem do produto. Ausência de coliformes nos lotes avaliados é indicativo de boas condições higiênico-sanitárias de utensílios, equipamentos e manipuladores durante o processo de elaboração dos produtos analisados (LIMA et al., 2009).



#### 4.3.5 Análises Sensoriais

O incremento de FMP aos iogurtes resultou em ligeira diminuição das notas atribuídas aos parâmetros analisados sensorialmente em relação ao controle (TABELA 4.6). O aumento do nível de enriquecimento não se diferenciou ( $p>0,05$ ) nas notas atribuídas aos parâmetros de cor (6,64), aroma (6,95), textura (5,93) e aparência (6,30).

**TABELA 4.6.** Valores médios e desvio padrão da análise sensorial quanto aos parâmetros cor, aroma, sabor, textura e aparência de iogurte natural enriquecido com farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.

Tratamentos	Parâmetros				
	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Aparência
Controle	8,02±1,51a	7,97±1,39a	7,85±1,59a	7,85±1,59a	8,52±0,96a
0,5% FMP	7,27±1,62ab	7,27±1,66ab	6,37±2,30b	6,12±1,66b	6,82±1,69b
1,0% FMP	6,37±2,26bc	6,92±1,77b	5,90±1,93b	5,90±1,55b	6,30±2,21cb
1,5% FMP	6,30±2,21bc	6,65±2,20b	4,37±2,20c	5,77±1,98b	5,77±1,98b
<b>CV (%)</b>	<b>30,12</b>	<b>24,71</b>	<b>33,11</b>	<b>26,49</b>	<b>25,61</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Somente o parâmetro sabor obteve menor média quando atingido 1,5% de adição de FMP, correspondente ao *after taste* do amargo ter sido mais nítido, pela presença de taninos e outros compostos fenólicos. Alves (2011) também observou menor aceitação sensorial de iogurte com até 2,5% de casca de jabuticaba para o parâmetro sabor (5,12), e atribuiu ao sabor amargo e caráter adstringente de compostos fenólicos.

Coelho & Wosiacki (2010) observaram excelente aceitação da inclusão do bagaço de maçã em vitamina de banana e na formulação de bolo, com valor médio entre 7 e 8.

Segundo Gonçalves & Leão (2013) o enriquecimento de iogurtes com farinhas mistas de resíduos da casca de maracujá, bagaço de maçã e casca de uva resultou em aceitabilidade intermediária, entre 5 (não gostei nem desgostei) e 6 (gostei ligeiramente).

A menor aceitabilidade em relação ao iogurte enriquecido com 1,5% farinha do mesocarpo do pequi ocorreu devido ao sabor amargo residual, característico destas farinhas de resíduos. Coelho & Wosiacki (2010) explicam que este amargor está relacionado aos compostos fenólicos presentes nas cascas, que, por outro lado, são responsáveis pela atividade antioxidante funcional.

Uma forma de amenizar a presença do sabor residual seria a adição de polpas de frutos com teor mais elevado da razão sólidos solúveis/acidez, como banana, morango, entre outros, testando formulações com diferentes frutos e concentrações.

**TABELA 4.7.** Valores médios e desvio padrão dos testes de intenção de compra e de diferença do controle de iogurte natural enriquecido com farinha do mesocarpo do pequi liofilizada.

<b>Tratamentos</b>	<b>Intenção de Compra</b>	<b>Diferença do Controle</b>
Controle	1,22±0,42c	---
0,5% FMP	2,62±1,12b	2,90±0,71b
1,0% FMP	2,65±1,25b	2,70±0,82b
1,5% FMP	3,52±0,90a	3,67±1,16a
<b>CV (%)</b>	<b>39,05</b>	<b>29,72</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Em relação à intenção de compra dos consumidores, houve aumento ( $p < 0,05$ ) entre as médias do controle para os iogurtes enriquecidos com FMP, porém, para adição de 0,5% e 1,0% de FMP aos iogurtes, não houve diferenças ( $p > 0,05$ ), com médias intermediárias, que correspondem, em termos hedônicos, a "provavelmente compraria" (TABELA 4.7).

Apesar de menores médias na análise sensorial, o iogurte com 1,5% de FMP obteve a maior intenção de compra. Diversos provadores declararam nos comentários que comprariam este iogurte pelo fato de o associarem a um produto mais saudável e nutritivo pela presença de fibras.

Para o teste de diferença do controle, os Tratamentos com adições intermediárias, de 0,5% e 1,0% de FMP ao iogurte, não diferiram entre si ( $p > 0,05$ ), sendo ligeiramente diferente do controle. Já o nível maior de enriquecimento, de 1,5%, diferiu dos demais ( $p < 0,05$ ).

A análise sensorial da farinha do mesocarpo de pequi liofilizada resultou em nota média atribuída à cor de  $8,00 \pm 0,78$ ; de  $7,00 \pm 1,22$  para aroma; de  $7,63 \pm 1,23$  para textura; e de  $7,83 \pm 1,63$  para aparência global. Todas as notas atribuídas aos parâmetros da FMP ficaram entre 7 e 8, relativas aos termos "gostei moderadamente" e "gostei muito".

Conforme pesquisa feita em questionário sobre a importância e a frequência de consumo de fibras, 97,5% dos provadores afirmaram a importância da adição de fibras na dieta humana, embora apenas 52% dos provadores consumam diariamente. Já em

relação à farinha do mesocarpo do pequi, 73% dos provadores relataram que consumiriam como fonte de fibras, mesmo com o sabor residual.

Pelos benefícios para os processos digestórios, o incentivo à ingestão de fibras alimentares aumentou desde a década de 70, mas há poucos estudos sobre a aplicação destas fibras, principalmente quando oriundas de resíduos agroindustriais (MIRANDA et al., 2013).

#### **4.4 CONCLUSÃO**

Quanto aos aspectos físico-químicos, a adição de farinha do mesocarpo do pequi resulta em maior acidez, menor pH, menor sinérese e maior capacidade de retenção de água, parâmetros favoráveis para maior conservação durante o armazenamento do produto.

As maiores concentrações da FMP intensificam a cor do iogurte natural, resultando em cores com tendência principalmente ao amarelo, sem diferenças na percepção sensorial dos provadores.

A contagem de bactérias lácticas viáveis foi maior que a preconizada na legislação e houve ausência de leveduras, fungos filamentosos e coliformes totais, indicativo de produto adequado ao consumo.

Existe boa aceitação sensorial e intenção de compra do iogurte natural enriquecido com FMP. Até mesmo na maior concentração, de 1,5%, embora tenha obtido a menor aprovação devido ao sabor residual amargo, a intenção de compra é extremamente favorável em razão do conhecimento dos provadores sobre a importância do consumo diário de fibras.

Assim, entre as concentrações analisadas, o nível de 1,5% de FMP é o mais indicado para enriquecimento de iogurte natural. Desta forma, a farinha do mesocarpo do pequi é um subproduto de uso potencial no processamento de iogurtes para enriquecimento nutricional, funcional e incremento de características tecnológicas desejáveis.

#### **4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Especificações de cores de acordo com o sistema de notação Munsell – NBR 12694**. Rio de Janeiro, 1992.

- ALVES, A.P.C. **Casca de jaboticaba (*Plinia jaboticaba* (Vell.) Berg): processo de secagem e uso como aditivo em iogurte**. Dissertação (Mestrado em Agroquímica). 90p. 2011. Universidade Federal de Lavras. Lavras. 2011.
- BARTNIKOWSKY, S.; ELEGRINI, J.; OLIVO, I.; RIBEIRO, D.H.B.; CHAVES, A.C.S.D. **Desenvolvimento e caracterização de iogurte concentrado simbiótico de jaboticaba com farinha de casca de jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*)**. In: SBCTA, 24, 2014, Aracaju. *Anais...* Aracaju, XXIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2014.
- BORTOLOZO, E.Q.; QUADROS, M.H.R. Aplicação de inulina e sucralose em iogurte. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**. Paraná. v.1, n.1, p.37-47, 2007.
- BRANDÃO, W.A.P.L.N.T.M.; MENDONÇA, S.N.T.G.; BENEDET, H. D. Viabilidade de *Lactobacillus acidophilus* em bebida fermentada, saborizada a partir de soro lácteo e inulina. **Revista Higiene Alimentar**, v.25, n.194/195, p.139-142, 2011.
- BRASIL. Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 out. 2007.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 68, de 12 de dezembro de 2006. Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais Físico-Químicos, para Controle de Leite e Produtos Lácteos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 dez. 2006, seção 1, p.8.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova o regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 dez. 2003.
- CIE - Commission Internationale de l'Eclairage. **Colorimetry**. 2 ed. Vienna: CIE publication, 1996.
- COELHO, L.M.; WOSIACKI, G. Avaliação sensorial de produtos panificados com adição de farinha de bagaço de maçã. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n.3, p. 582-588, 2010.
- DIMITRIOS, B. Sources of natural phenolic antioxidants. **Trends in Food Science e Technology**, v.17, n.9, p.505-512, 2006.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- GONÇALVES C.R., LEÃO M.F. Produção de iogurte com adição das farinhas mistas a partir dos resíduos de maçã, maracujá e uva. **Centro Científico Conhecer**, v.9, n.17, p. 3618-3631, 2013.
- HUNT, M.E.; RICE, E.W. 2005. **Microbiological Examination**. In: EATON (Eds), Standart Methods for the Examination of water e wastewater, 21st Ed. Washigton, D.C.: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF), Part 9000, Section 9221, p.9.49-9.58.
- ICMSF - International commission on microbiological specification for foods. **Microorganismos de los alimentos: su significado y metodos de emuneración**. 2ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 367p.
- IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: IMESP, 2005.

- JAROS, D.; ROHM, H. Controlling the texture of fermented dairy products: the case of yoghurt. In: SMIT, G. (Ed.). **Dairy processing: improving quality**. Cambridge: Woodhead Publishing; Boca Raton: CRC, 2003. Chap.8.
- SOARES JÚNIOR, M.S.; BASSINELLO, P.Z.; CALIARI, M; REIS, R.C; LACERDA, D.B.C.L; KOAKUZU, S.N. Development and chemical characterization of flour obtained from the external mesocarp of “pequizeiro” fruit. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.4, p.940-948, 2010.
- LEÃO, D.P. **Avaliação comparativa do potencial de farelo de trigo comercial e pericarpo de pequi como substratos de fibras com capacidade antioxidante**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). 87p. 2013. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2013.
- LIMA, R.M.T.; FERRAZL. P.S.; LIMA, R.C.T.; ARAÚJO, G.T.; PAIVA, J.E.; SHINOHARA, N.K.S.; LOPES, E.J.T. **Análise microbiológica e físico-química de bebidas lácteas comercializadas no Recife – PE**. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife - PE. 2009.
- LUCEY, J. A. Formation and physical properties of milk protein gels. **Journal of Dairy Science**, v.85, n.2, p.281-294, 2002.
- MACEDO, R.E.F. **Desenvolvimento de bebida láctea fermentada a base de extrato hidrossolúvel de soja e soro de leite de búfala por cultura mista de *Lactobacillus casei* Shirota e *Bifidobacterium adolescentis***. 1997. 112 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.
- MANTSCH, H.H.; CHAPMAN, D. **Infrared Spectroscopy of Biomolecules**. John Wiley e Sons, 1996, 203p.
- MELEIRO, C.H.A.; AMAYA, D.B.R. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.17, n.3-4, p.385–396, 2004.
- MESTDAGH, F; KERKAERT, B.; CUCU, T.; DE MEULENAER, B. Interaction between whey proteins and lipids during light-induced oxidation. **Food Chemistry**, v.126, n.3, p.1190–1197, 2011.
- MIRANDA, A.A.; CAIXETA, A.C.A.; FLÁVIO, E.F.; PINHO, L. Desenvolvimento e análise de bolos enriquecidos com farinha da casca do maracujá. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v.24, n.2, p.225-232, 2013.
- MOREIRA, S.R.; SCHWAN, R.F.; CARVALHO, E.P.; FERREIRA, C. Análise microbiológica e química de iogurtes comercializados em Lavras, Minas Gerais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.1, p.147-152, 1999.
- OLIVEIRA, K.A.M.; RIBEIRO, L.S.; OLIVEIRA, G.V.; PEREIRA, J.M.A.T.K. MENDONÇA, R. C. S.; ASSUMPÇÃO, C. F. Desenvolvimento de iogurte de araticum e estudo da aceitação sensorial. **Alimentos e Nutrição**. v.19, n.03, p.277-281, 2008.
- OLIVEIRA, L. **Probióticos, prebióticos e simbióticos: definição, benefícios e aplicabilidade industrial**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, 2014.
- PARNELL-CLUNIES, E.M.; KAKUDA, Y.; MULLEN, K.; ARNOTT, D.R.; DEMAN, J.M. Physical properties of yogurt: a comparison of vat versus continuous heating systems of milk. **Journal of Dairy Science**, v.69, n.10, p.2593-2603, 1986.
- PHILLIPS, G.O.; OGASAWARA, T.; USHIDA, K. The regulatory and scientific approach to defining gum Arabic (*Acacia senegal* and *Acacia seyal*) as a dietary fibres. **Food Hydrocolloids**, v.22, n.1, p.24-35, 2008.
- PIMENTEL, T.C.; GARCIA, S.; PRUDENCIO, S.H. Probiotic yoghurt with inulin-type fructans of different degrees of polymerization: physicochemical and microbiological

characteristics and storage stability. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.3, p.1059-1070, 2012.

QUINTINO, S.S. Avaliação comparativa de iogurte produzido a partir da polpa natural de maracujá (*passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) e suco artificial. **Enciclopédia biosfera**, Centro científico conhecer, v.8, n.14, p.1830-1842, 2012.

RIENER, J.; NOCI, F.; CRONIN, D.A.; MORGAN, D.J.; LYNG, J.G. A comparison of selected quality characteristics of yoghurts prepared from thermosonicated and conventionally heated milks. **Food Chemistry**, v.119, n.3, p.1108-1113, 2010.

SILVA, A.B.N.; UENO, M. Avaliação da viabilidade de bactérias lácticas e variação da acidez titulável em iogurtes com sabor de frutas. **Revista Cândido Tostes**, v.68, n.390, p.20-25, 2013.

TONIAZZO, T. **Dispersões de lipossomas encapsulando  $\beta$ -caroteno: caracterização, estabilidade físico-química e incorporação em iogurte**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia dos Alimentos). 120f. Universidade de São Paulo. Pirassununga. 2013.

ZOCC, R.; GOMES, A.T. Embrapa Gado de Leite. Agência de Informação. Árvore Hiperbólica. **Tendência do Mercado de Leite**. 2007. Endereço: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01\\_486\\_217200392422.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_486_217200392422.html). Acesso: 25/05/2015.

## CONCLUSÃO GERAL

O tempo de secagem do mesocarpo de pequi em estufa de circulação de ar forçada diminui com a elevação da temperatura, variando de 16,83 horas para 40 °C a 9,67 horas para 70 °C, até a obtenção de farinha com teor de água final de 0,15±0,01 (decimal, b.s.). O modelo de Midilli se ajusta adequadamente a todas as condições de secagem.

O coeficiente de difusão efetivo, a entropia e a energia livre de Gibbs aumentam com a elevação da temperatura, enquanto a entalpia decresce. A energia de ativação para a difusão líquida é de 11,387 kJ.mol<sup>-1</sup>.

As diferentes temperaturas de secagem em estufa e a liofilização influenciam na composição química, funcional e propriedades físico-químicas das farinhas. A FMP obtida pelos diferentes métodos caracteriza-se como fonte de teor muito elevado de fibras, de baixo teor de lipídios e boa fonte energética. Destacam-se as concentrações de potássio, cobre, manganês e boro.

A liofilização resulta em estrutura porosa e amorfa pelo colapso proteico do congelamento e pela maior remoção de água, composta basicamente de partícula finas. Consecutivamente, a FMP liofilizada apresenta menor massa específica aparente e elevados volume de intumescimento e índices de absorção em água, leite e óleo, com menor acidez e maior razão sólidos solúveis/acidez. Destaca-se a elevada atividade antioxidante representada pelo maior teor de fenólicos totais e, provavelmente, maior teor de carotenoides, em decoorência da preservação do tom, pureza e intensidade da cor amarela.

A secagem a 40 °C para obtenção da FMP, com elevado tempo de exposição ao oxigênio, acarreta escurecimento oxidativo e degradação de pigmentos.

A temperatura de secagem de 70 °C também ocasiona escurecimento não enzimático, complexação e desnaturação das proteínas. A atividade antioxidante e os fenólicos totais, embora ainda elevados, foram afetados neste processamento. Ocasionalmente ainda alteração da microestrutura pela ocorrência de gelatinização do amido, influenciando maiores índices de solubilidade.

A FMP liofilizada preserva melhor as propriedades nutricionais e funcionais do mesocarpo do pequi, porém, pela baixa massa específica e elevada higroscopicidade, deve-se ter atenção quanto ao armazenamento ao abrigo de luz, calor, oxigênio e umidade, afim de evitar oxidação e aglomeração das partículas finas. É indicada para enriquecimento de produtos com alegação funcional e maior valor de mercado, por ser uma tecnologia mais onerosa. Em função dos elevados índices de absorção, é

recomendável sua inclusão em lácteos e cárneos como emulsificante, espessante e estabilizante em produtos diversos.

Em adição, a secagem a 50°C é a alternativa mais econômica (maior rendimento, menor tempo de processo, menores custos de produção, menor volume ocupado) sem grande prejuízo para a riqueza nutricional e para a atividade antioxidante da FMP. É apontada com aplicação potencial, pelos elevados índices de solubilidade, em produtos solúveis, prontos para o consumo, alimentos infantis e para alimentação animal.

De acordo com os dados encontrados, a FMP liofilizada foi selecionada para o enriquecimento do iogurte natural em decorrência da maior atividade antioxidante, teor de fenólicos, propriedades de absorção desejáveis e maior razão sólidos solúveis/acidez.

Quanto maior o enriquecimento de FMP liofilizada em iogurte, maior a acidez titulável, menor o pH, menor sínere e maior a capacidade de retenção de água, características favoráveis à conservação durante o armazenamento. As maiores concentrações de FMP tendem à cromaticidade amarela nos iogurtes, sem diferenças na percepção dos provadores.

O iogurte prebiótico desenvolvido apresenta-se adequado ao consumo, com contagem de bactérias lácticas viáveis na magnitude de  $10^8$  UFC/mL, maior que a preconizada na legislação, com ausência de leveduras, fungos filamentosos e coliformes termotolerantes.

A FMP liofilizada tem excelente aceitação sensorial quanto aos parâmetros cor, aroma, textura e aparência. Quando enriquecida em iogurte natural nos níveis de 0,5%, 1,0% e 1,5%, o sabor é o único parâmetro com menor aprovação no maior nível de adição pelo amaro residual, provavelmente pela ação de fenólicos como taninos, porém, com a maior intenção de compra por ser fonte de fibras.

Sendo assim, o iogurte natural enriquecido com 1,5% de FMP liofilizada é um potencial novo produto para o mercado de alimentos funcionais prebióticos, com teor muito alto de fibras e elevada atividade antioxidante.

Prospecta-se para pesquisas futuras a continuação do estudo das farinhas do mesocarpo do pequi liofilizada e seca a 50°C, por apresentarem desejáveis propriedades tecnológicas. São de interesse o conhecimento da higroscopicidade por meio da modelagem das isotermas de sorção, estudos sobre o comportamento reológico por meio de farinografia e alveolografia e o desenvolvimento de novos produtos objetivando maior aceitação sensorial, como bebidas lácteas saborizadas com frutas.