



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**DE ALIMENTOS**

**EFEITO DA LIOFILIZAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA POLPA DE ABACATE**  
**(*Persea americana* Mill) E ELABORAÇÃO DE GUACAMOLE LIOFILIZADO**

Danilo Santos Souza

ARACAJU-SE  
2012



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**DE ALIMENTOS**

**EFEITO DA LIOFILIZAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA POLPA DE ABACATE**  
*(Persea americana Mill)* E ELABORAÇÃO DE GUACAMOLE LIOFILIZADO

Danilo Santos Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

**Orientador:** Prof<sup>o</sup> Dr. Narendra Narain

**Co-orientador:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Luanda Gimeno Marques

**Agência Financiadora:** INCT – Frutas Tropicais/CAPES/CNPq

ARACAJU-SE

2012



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**DE ALIMENTOS**

**EFEITO DA LIOFILIZAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA POLPA DE ABACATE**  
*(Persea americana Mill)* E ELABORAÇÃO DE GUACAMOLE LIOFILIZADO

Autor: Danilo Santos Souza

Orientador: Profº Dr. Narendra Narain

Co-orientador: Profª Drª Luanda Gimeno Marques

Projeto aprovado em 30 de Janeiro de 2012 pela banca examinadora constituída por:

---

Prof. Dr. Edelvio de Barros Gomes

Bolsista PNPB (LAF/UFS)

---

Prof. Dr. Antonio Martins de Oliveira Júnior

Departamento de Tecnologia de Alimentos – DTA/UFS

---

Prof. Dr. Narendra Narain

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - PROCTA

ARACAJU-SE

2012

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S729e	<p>Souza, Danilo Santos</p> <p>Efeito da liofilização sobre a qualidade da polpa de abacate (<i>Persea americana</i> Mill) e elaboração de guacamole liofilizado / Danilo Santos Souza. – São Cristóvão, 2012. xxi, 123 f. ; il.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, 2012.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Narendra Nairan Co-orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Luanda Gimeno Marques</p> <p>1. Tecnologia de alimentos. 2. Liofilização. 3. Abacate na nutrição humana. 4. Guacamole liofilizado. 5. Lixiviação 6. Reidratação. 7. Atividade antioxidante I. Título</p> <p>CDU: 664.853.037.1:57.086.13</p>
-------	--

*Aos meus pais Joel (in memorian) e Dilma,  
Aos irmãos Jó e Joelson,  
À minha amada esposa Jane,  
Aos meus sobrinhos João Marcelo e Marco Antonio,  
Pelo imenso amor, apoio e confiança.  
**Dedico!***

## **VITAE DO CANDIDATO**

Danilo Santos Souza, nascido no dia 30 de outubro de 1985, natural de Vitória da Conquista, filho de Joel Marques de Souza e Maria Dilma Santos Souza.

Possui curso técnico em agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal Antonio José Teixeira, Guanambi-BA.

Graduou-se em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB onde iniciou trabalhos de iniciação científica com controle de qualidade em pequenas empresas e pesquisas com secagem convectiva de vegetais.

Atualmente desenvolve trabalhos na área de qualidade de alimentos voltada ao processo de liofilização e desenvolvimento de novos produtos liofilizados.

*“A persistência é o menor caminho do êxito!”*

(Charles Chaplin)

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por tornar minha vida um palco de conquistas me guiando de forma inteligente pelas oportunidades.

À minha família pelo apoio e amor confiados a mim a todo instante.

Ao cunhado Marcelo imenso incentivo e auxílio em todos os momentos.

Aos sogros D. Lúcia e Sr. Zé, por não hesitar em me ajudar o quanto necessário.

Aos amigos Cinho, Vinícius, Babá, Júnior, Cassiano, Tonhão, Zé, Má, Luizinho, Minho e Léo pela amizade e companheirismo prestados mesmo na distância.

Ao professor Narendra, pela orientação, por disponibilizar inúmeras oportunidades e acreditar em meu potencial;

À professora Luanda, pelo apoio, incentivo, confiança e por me orientar de forma segura, sábia e competente.

Ao amigo Edelvio pela parceria, propor inúmeras sugestões e incentivar de forma instrutiva a importância da pesquisa.

Aos amigos da UFS Geânderson, Rita, Joice, Camila, Nay, Beatriz e Terezinha que de certa forma me incentivaram e me ajudaram para a concretização desse trabalho.

Aos colegas do DTA e LAF pelo apoio oferecido durante esta caminhada;

A todos os professores e funcionários do DTA que de alguma forma contribuíram para que meu trabalho se concretizasse.

Ao INCT de Frutas Tropicais/CNPq e à CAPES pelo apoio financeiro durante todo este período de mestrado.

Em especial eu agradeço e ofereço este trabalho a amiga/irmã Bel (*in memoriam*) que infelizmente encerrou sua brilhante jornada aqui na terra.

## EFEITO DA LIOFILIZAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA POLPA DE ABACATE (*Persea americana* Mill) E ELABORAÇÃO DE GUACAMOLE LIOFILIZADO

### RESUMO

O clima tropical, com elevada umidade e temperatura, proporciona condições desfavoráveis à conservação de alimentos, principalmente de frutos como o abacate que é altamente suscetível a reações de degradação natural. A liofilização tem um grande potencial para assegurar a estabilidade da polpa do abacate. No entanto, se faz necessário estudar o efeito dos parâmetros que influenciam no processo, como o congelamento e a pressão que afetam diretamente os aspectos de escurecimento enzimático, perdas de compostos bioativos e alterações nas características sensoriais da polpa do fruto liofilizado. Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência de parâmetros utilizados na liofilização sobre a qualidade da polpa de abacate e elaboração de guacamole liofilizado. Para isso, condições de congelamento e pressão de liofilização estabelecidas. A avaliação da qualidade foi feita realizando-se análises físico-químicas de pH, acidez total titulável e sólidos solúveis totais, assim como análises de textura, microscopia, cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$  e  $h$ ), atividade antioxidante, composição de ácidos graxos, ácidos fenólicos, fenóis totais. Modelos empíricos e semi-empíricos foram utilizados para descrever a cinética de liofilização e reidratação da polpa. Realizaram-se análises sensoriais do guacamole reidratado por testes de diferença do controle e de aceitação. A polpa do abacate apresentou valores médios aproximados de 6,25 °Brix, 4,57% de acidez titulável, 6,36 de pH, 3,7 de *ratio* e 17,68 µgácido gálico/mL extrato. As amostras de guacamole elaboradas com a polpa liofilizada do abacate (PF e PU), independente do tipo de congelamento, tiveram as melhores respostas para todos os atributos sensoriais estudados. O tipo de congelamento exerceu grande influência sobre as cinéticas de liofilização e reidratação da polpa do abacate, sendo que as amostras congeladas em freezer obtiveram uma maior taxa de secagem e um maior fluxo de absorção de umidade. No entanto, o congelamento rápido favoreceu a qualidade do produto, minimizando as perdas de compostos nutricionais e danos à aparência e estrutura do produto. Todas as amostras de guacamole diferiram da amostra padrão, porém apresentaram boa aceitação sensorial para todos os atributos estudados.

**Palavras-chave:** Cristais de gelo; lixiviação; reidratação; cor; atividade antioxidante.

## EFFECT OF FREEZE-DRYING ON THE QUALITY OF AVOCADO PULP (*Persea americana* Mill) AND FREEZE-DRIED PREPARATION OF GUACAMOLE

### ABSTRACT

The tropical climate, with high humidity and temperature, provides unfavorable conditions for the preservation of food, mainly of fruits such as avocado which is highly susceptible to natural degradation reactions. The freeze-drying has great potential to ensure the stability of the pulp of the avocado. However, it is necessary to study the parameters that influence the process, such as freezing and pressure that directly affect aspects of enzymatic browning, loss of bioactive compounds and changes in sensory characteristics of dried fruit. Thus, this study aims to evaluate the influence of variables used in the process of freeze drying on the quality of the pulp of avocado and preparation of freeze-dried guacamole. For this purpose, freezing conditions and pressure lyophilization established. The quality evaluation was done by performing physical and chemical analysis of pH, titratable acidity and total soluble solids, as well as texture analysis, microscopy, color (L \*, a \*, b \*, C h), antioxidant activity, composition of fatty acids, phenolic acids, total phenols. Semi-empirical models and empirical were used to describe the kinetics of lyophilization and rehydration of the pulp. Analyses were performed sensory tests guacamole rehydrated by difference from the control and acceptance. The pulp of the avocado had approximate average values of 6.25 °Brix, 4.57% titratable acidity, pH 6.36, ratio of 3.7 and 17.68 gallic µgácido/mL extrato. The samples prepared guacamole with avocado pulp lyophilized (PF and PU), regardless of the type of freezing, had the best answers to all the sensory attributes studied. The type of freezing exerted great influence on the kinetics of lyophilization and rehydration of the pulp of the avocado, while the samples frozen in the freezer had a higher rate of drying and a greater flow of moisture absorption. However, the rapid freezing promoted the quality of the product, minimizing losses and damage to the nutritional compounds appeared and the product structure. All samples guacamole differ from the standard sample, but showed good sensory acceptance for all attributes studied.

**Keywords:** Ice crystals; leaching; rehydration, color, antioxidant activity.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
ÍNDICE DE TABELAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvii
NOMENCLATURA .....	xx
ABREVIACÕES .....	xxi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1 Geral.....	3
2.2 Específicos .....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
3.1 Aspectos Gerais Sobre Frutos.....	5
3.2 Abacate .....	6
3.3 Liofilização .....	9
3.4 Cinética de Secagem.....	12
3.5 Propriedades de Reidratação de Alimentos Desidratados .....	13
3.6 Parâmetros de Qualidade em Frutas .....	16
3.6.1 Atividade antioxidante em frutas.....	16
3.6.2 Textura .....	18
3.6.3 Colorimetria .....	19
3.6.4 Análise sensorial .....	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 Local da Pesquisa.....	22
4.2 Material.....	22

4.3 Preparo das Amostras .....	22
4.3 Processo de Congelamento .....	23
4.4 Processo de Liofilização .....	23
4.4.1 Fluxograma do Processo para Obtenção da Polpa Liofilizada .....	24
4.5 Tratamento Térmico nos Frutos.....	25
4.6 Fluxograma para obtenção do guacamole .....	25
4.6.1 Adição de ácido cítrico na formulação de guacamole .....	26
4.7 Caracterização do Abacate e Guacamole.....	26
4.7.1 Classificação oficial do fruto .....	26
4.7.2 Metodologias de extração .....	27
4.7.2.1 Extrato etanólico para compostos fenólicos totais.....	27
4.7.2.2 Metodologia de extração para determinação da atividade antioxidante .....	27
4.7.2.2.1 Fração hidrofílica.....	27
4.7.2.2.2 Fração lipofílica .....	27
4.7.3 Determinação do pH .....	28
4.7.4 Determinação da acidez total titulável (ATT) .....	28
4.7.5 Determinação da Umidade (%b.u.).....	29
4.7.6 Determinação do Teor de Sólidos Solúveis Totais .....	29
4.7.7 Extrato Etéreo .....	29
4.7.8 Determinação de ácidos graxos no óleo da polpa.....	29
4.7.9 Determinação de compostos não-voláteis.....	31
4.7.10 Determinação de compostos fenólicos totais.....	31
4.7.11 Determinação da atividade antioxidante.....	32
4.7.11.1 Ensaios de ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotriazolina-6-ácido sulfônico)).	32
4.7.11.2 Ensaios de FRAP (Poder Antioxidante de Redução do Ferro).....	32
4.7.11.3 Ensaios de DPPH (1,1-difenil-2-picrilidrazil) .....	33

4.7.12 Microscopia .....	33
4.7.13 Colorimetria .....	33
4.7.14 Textura .....	34
4.7.15 Propriedades de reidratação .....	34
4.8 Análise Sensorial .....	35
4.8.1 Teste sensorial de diferença do controle .....	35
4.8.2 Teste de Aceitação pelos consumidores .....	36
4.9 Análise Estatística .....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
5.1 Caracterização da Matéria-Prima .....	39
5.1.1 Composição centesimal .....	39
5.1.2 Caracterização físico-química e física do abacate .....	39
5.2 Cinética de congelamento .....	42
5.3 Cinética de secagem .....	44
5.3.1 Equacionamento matemático da cinética de secagem .....	45
5.4 Características de reidratação .....	51
5.4.1 Influência da geometria .....	51
5.4.2 Influência do congelamento e pressão de vácuo .....	53
5.4.2.1 Equacionamento matemático da reidratação .....	55
5.4.2.2 Índices de reidratação .....	58
5.5 Influência do congelamento, liofilização e reidratação sobre a qualidade da polpa de abacate .....	60
5.5.1 Acidez total titulável, pH e sólidos solúveis totais (°Brix) .....	60
5.5.2 Colorimetria .....	62
5.5.3 Microscopia .....	67
5.5.3 Propriedades mecânicas .....	69

5.5.4 Atividade antioxidante .....	71
5.5.4.1 Casca, polpa e semente do abacate .....	71
5.5.4.2 Polpa processada.....	75
5.6 Determinação dos Ácidos Graxos do Óleo da Polpa.....	78
5.7 Determinação de Compostos Não-Voláteis .....	81
5.8 Conteúdo de Compostos Fenólicos Totais.....	85
5.9 Elaboração e Avaliação das Características Físicas e Físico-Químicas do Guacamole .....	86
5.9.1 Influência da adição de ácido cítrico sobre as características físico-químicas e físicas do guacamole .....	87
5.9.1.1 Acidez total titulável e pH .....	87
5.9.1.2 Colorimetria .....	88
5.10.3 Análise do Perfil de Textura (TPA).....	90
5.11 Avaliação Sensorial do Guacamole .....	93
5.11.1 Teste de diferença do controle .....	93
5.11.2 Teste de aceitação pelos consumidores .....	94
6. CONCLUSÕES .....	101
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	104
8. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	123

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 3.1.</b> Composição centesimal do abacate.....	8
<b>Tabela 3.2.</b> Equações semi-empíricas para a cinética de secagem em razão de umidade (RU). .....	13
<b>Tabela 5.1.</b> Composição centesimal dos diversos componentes do abacate variedade Collinson.....	39
<b>Tabela 5.2.</b> Médias de rendimento e caracterização físico-química do abacate. ....	40
<b>Tabela 5.3.</b> Parâmetros das equações de Lewis, Page e Brooker e coeficientes de correlação para liofilização de cubos da polpa de abacate. ....	49
<b>Tabela 5.4.</b> Valores dos parâmetros para os modelos usados na reidratação com água das diversas geometrias da polpa de abacate liofilizado.....	52
<b>Tabela 5.5.</b> Parâmetros das equações de Peleg e Weibull e coeficientes de correlação ajustados aos dados experimentais para reidratação de cubos da polpa de abacate. ....	58
<b>Tabela 5.6.</b> Índices de reidratação para a polpa de abacate liofilizada em diferentes condições de congelamento, liofilização e reidratação.....	59
<b>Tabela 5.7.</b> Características físico-químicas (médias e desvios padrões) da polpa de abacate submetida ao congelamento, liofilização e reidratação. ....	61
<b>Tabela 5.9.</b> Propriedades mecânicas (valores médios e desvio padrão) da polpa de abacate liofilizada reidratada. ....	69
<b>Tabela 5.10.</b> Conteúdo relativo (%área) de ácidos graxos do óleo da polpa de abacate variedade Collinson submetida à secagem convectiva (50°C) e liofilização. ....	80
<b>Tabela 5.11.</b> Conteúdo de ácidos fenólicos presentes na fração hidrofílica do abacate variedade Collinson por CLAE e influência do processamento sobre sua estabilidade. ....	84
<b>Tabela 5.12.</b> Valores (médias e desvio padrão) da acidez titulável ( $\text{g}_{\text{ácido cítrico}}/100\text{g}_{\text{guacamole}}$ ) das amostras de guacamole <i>in natura</i> e do produto reidratado após liofilização. ....	87
<b>Tabela 5.13.</b> Valores (médias e desvio padrão) do pH das amostras de guacamole <i>in natura</i> e reidratado após liofilização. ....	87

<b>Tabela 5.14.</b> Grau de diferença entre as amostras de guacamole <i>in natura</i> , elaborado com polpa liofilizada e guacamole reidratado após de liofilização. ....	93
<b>Tabela 5.15.</b> Notas (médias e desvios padrões) de aceitação para as diferentes formulações de guacamole.....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b> Cultivares de abacate. (A) Antilhana; (B) Guatemalense e (C) Mexicana. ..	7
<b>Figura 4.1.</b> Fluxograma do processo para obtenção da polpa liofilizada de abacate.....	24
<b>Figura 4.2.</b> Fluxograma do processo para obtenção de guacamole. ....	26
<b>Figura 4.3.</b> Ficha de aplicação do Teste Diferença do Controle para guacamole.....	36
<b>Figura 4.4.</b> Ficha de aplicação do teste de Aceitação pelo consumidor para guacamole. .....	37
<b>Figura 5.1.</b> Comportamento mecânico da força (N) em função do tempo (s) de perfuração do corpo de prova no abacate. ....	42
<b>Figura 5.2.</b> Cinética de congelamento de cubos da polpa de abacate em diferentes temperaturas.....	43
<b>Figura 5.3.</b> Razão de umidade em base seca em função do tempo para cubos da polpa de abacate submetidos a liofilização em diferentes pressões. ....	44
<b>Figura 5.4.</b> Razão de umidade em base seca e função do tempo para cubos da polpa de abacate submetidos a liofilização nas diferentes pressões ajustados à equação de Lewis. .....	46
<b>Figura 5.5.</b> Razão de umidade em base seca em função do tempo para cubos da polpa de abacate submetidos a liofilização nas diferentes pressões ajustados à equação de Page.....	47
<b>Figura 5.6.</b> Razão de umidade em base seca em função do tempo para cubos da polpa de abacate submetidos a liofilização nas diferentes pressões ajustados à equação de Brooker. ....	47
<b>Figura 5.7.</b> Taxa de secagem para cubos da polpa de abacate submetidos a diferentes pressões de liofilização. ....	48
<b>Figura 5.8.</b> Umidade em base seca em função do tempo de reidratação em água para as partes liofilizadas da polpa do abacate e os ajustes para as equações de Peleg e Weibull. .....	51

<b>Figura 5.9.</b> Razão de reidratação (base seca) em função do tempo para cubos da polpa de abacate liofilizado submetidos previamente a diferentes congelamentos e pressões.	54
<b>Figura 5.10.</b> Razão de reidratação em base seca em função do tempo para reidratação de cubos da polpa de abacate liofilizado submetidos a diferentes pressões de liofilização e ajustados à equação de Peleg. ....	56
<b>Figura 5.11.</b> Razão de reidratação em base seca em função do tempo para reidratação de cubos da polpa de abacate liofilizada submetidos a diferentes pressões de liofilização e ajustados à equação de Weibull. ....	56
<b>Figura 5.12.</b> Razão de reidratação em base seca em função do tempo para reidratação de cubos da polpa liofilizada de abacate.....	57
<b>Figura 5.13.</b> Índice de escurecimento (IE) da polpa do abacate submetida a diferentes condições de congelamento e liofilização. ....	66
<b>Figura 5.14.</b> Microscopia da polpa de abacate <i>in natura</i> e liofilizada em diferentes aproximações. A) <i>In natura</i> (60x), B) Liofilizada (60x), C) <i>In natura</i> (100x), D) Liofilizada (100x), E) <i>In natura</i> (150x) e F) Liofilizada (150x). ....	68
<b>Figura 5.15.</b> Comportamento gráfico da polpa de abacate reidratada submetida a diversos pré-tratamentos de congelamento e pressão de liofilização e os níveis de compressão.....	70
<b>Figura 5.16.</b> Atividade antioxidante das frações hidrofílicas e lipofílicas do abacate pelo método ABTS <sup>•+</sup> . ....	72
<b>Figura 5.17.</b> Atividade antioxidante das frações hidrofílicas e lipofílicas do abacate pelo método FRAP.....	73
<b>Figura 5.18.</b> Atividade antioxidante das frações hidrofílica e lipofílica do abacate em poder antiradical (PAR) pelo método DPPH. ....	74
<b>Figura 5.19.</b> Atividade antioxidante das frações hidrofílica e lipofílica da polpa de abacate submetida aos processamentos pelo método ABTS. ....	76
<b>Figura 5.20.</b> Atividade antioxidante das frações hidrofílica e lipofílica da polpa de abacate submetida aos processamentos pelo método FRAP. ....	77

<b>Figura 5.21.</b> Atividade antioxidante das frações hidrofílica e lipofílica da polpa de abacate submetida aos diversos processamentos expressa em poder antiradical (PAR) pelo método DPPH. ....	78
<b>Figura 5.22.</b> Perfil dos cromatogramas de ácidos graxos do óleo da polpa de abacate variedade Collinson. ....	79
<b>Figura 5.23.</b> Perfil dos cromatogramas de ácidos fenólicos da fração hidrofílica do abacate. ....	82
<b>Figura 5.24.</b> Perfil dos cromatogramas de ácidos fenólicos (310nm) da fração hidrofílica da polpa de abacate submetida aos diversos processamentos. ....	83
<b>Figura 5.25.</b> Conteúdo de compostos fenólicos totais da polpa de abacate submetida aos diversos tratamentos térmicos. ....	85
<b>Figura 5.26.</b> Variação da luminosidade ( $L^*$ ) em função da concentração de ácido cítrico em guacamole <i>in natura</i> e reidratado. ....	88
<b>Figura 5.27.</b> Variação de ( $a^*$ ) em função da concentração de ácido cítrico em guacamole <i>in natura</i> e reidratado. ....	89
<b>Figura 5.28.</b> Variação de ( $b^*$ ) em função da concentração de ácido cítrico em guacamole <i>in natura</i> e reidratado. ....	90
<b>Figura 5.29.</b> Firmeza (N) das amostras de guacamole <i>in natura</i> e reidratada após liofilização, em função da concentração de ácido cítrico. ....	91
<b>Figura 5.30.</b> Gomosidade (N) das amostras de guacamole <i>in natura</i> e reidratada após liofilização, em função da concentração de ácido cítrico. ....	92
<b>Figura 5.31.</b> Coesividade (-) das amostras <i>in natura</i> e reidratadas de guacamole em função da concentração de ácido cítrico. ....	92
<b>Figura 5.32.</b> Histograma de frequência para o atributo de Aparência do guacamole. ....	96
<b>Figura 5.33.</b> Histograma de frequência para o atributo da Textura do guacamole. ....	97
<b>Figura 5.34.</b> Histograma de frequência para o atributo Sabor do guacamole. ....	98
<b>Figura 5.35.</b> Histograma de notas para o atributo da Impressão Global do guacamole. ....	98
<b>Figura 5.36.</b> Histograma de frequência para a Intenção de compra do guacamole. ....	99

## NOMENCLATURA

$\psi, \theta$  = Parâmetros da equação de Weibull

$a^*$  = Parâmetro de cor que varia do verde (-) ao vermelho (+)

$a, k$  = Parâmetros relativos a equações semi-empíricas de secagem

$b^*$  = Parâmetro de cor que varia do amarelo (-) ao azul (+)

b.u. = Base úmida

b.s. = Base seca

$C$  = Parâmetro de cor que representa a cromaticidade

$h$  = Parâmetro que representa o ângulo *hue* de cor

$k_1, k_2$  = Parâmetros da equação de Peleg

$L^*$  = Parâmetro de cor que representa luminosidade

$m_d$  = Massa desidratada (g)

$m_o$  = Massa inicial (g)

$m_r$  = Massa reidratada (g)

$n$  = Parâmetro da equação de Page

RR = Razão de reidratação

$s_d$  = Sólidos desidratados (%)

$s_o$  = Sólidos antes da secagem (%)

$s_r$  = Sólidos depois da reidratação (%)

$V_c$  = Velocidade de congelamento ( $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ )

$t$  = tempo (minutos)

$\Delta\tau$  = Variação da temperatura

$X_0$  = Umidade inicial (%b.s.)

$X_e$  = Umidade equivalente (%b.s.)

## ABREVIACOES

°Brix = Unidade de Sólidos Solúveis Totais

ABTS = 2'2-azino-bis(3-etilbenzotriazolina-6-ácido sulfônico)

ATT = Acidez Total Titulável

DHC = Capacidade de Retenção de Sólidos

DPPH = 1,1-difenil-2-picrilidrazil

FRAP = Poder Antioxidante de Redução do Ferro

GF = Guacamole congelado em freezer (-26°C);

GU = Guacamole congelado em ultrafreezer (-80°C);

PAR = Poder Antiradical

RA = Capacidade de reidratação

RU = Razão de Umidade

SST = Sólidos Solúveis Totais

TEAC = Atividade antioxidante equivalente a TROLOX

Vc = Velocidade de congelamento

WAC = Capacidade de Absorção de Águas

P1F = Congelamento em freezer (-26°C) e liofilização à pressão 0,12 mbar;

P2F = Congelamento em freezer (-26°C) e liofilização à pressão 0,37 mbar;

P3F = Congelamento em freezer (-80°C) e liofilização à pressão 1,03 mbar;

P1U = Congelamento em ultrafreezer (-80°C) e liofilização à pressão 0,12 mbar;

P2U = Congelamento em ultrafreezer (-80°C) e liofilização à pressão 0,37 mbar;

P3U = Congelamento em ultrafreezer (-80°C) e liofilização à pressão 1,03 mbar;

PF = Polpa congelada em freezer (-26°C);

PG = Polpa congelada em ultrafreezer (-80°C);

AC 1 = Guacamole com 1,05% de ácido cítrico;

AC 2 = Guacamole com 2,10% de ácido cítrico;

AC 3 = Guacamole com 3,15% de ácido cítrico;

## 1. INTRODUÇÃO

O abacateiro é originário do México e América Central e pertencente à família das *Lauraceae*, gênero *Persea*, sendo cultivado em quase todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo (MONTENEGRO, 1951; MARANCA, 1980; KOLLER, 1992; TEIXEIRA, 1992;). Trata-se de uma planta frutífera das mais produtivas por unidade de área cultivada (MARANCA, 1992). A polpa do abacate é, geralmente, de cor amarela clara, com tendência ao verde perto da casca, de consistência manteigosa e espessura de 15 a 20 mm ou mais (TANGO & TURATTI, 1992). Esta fruta se caracteriza pela elevada quantidade de matéria graxa na sua composição, principalmente, de ácidos graxos insaturados (10,85%), assim como proteínas (1,7%) e vitaminas lipossolúveis (A, B, C, E, G, K e P), sendo esta última em proporções superiores às das demais frutas. Os bioativos fitoquímicos como a vitamina E, carotenóides e esteróis possuem propriedades antioxidantes e atividade anti-radical (LEE *et al.*, 2004).

A princípio o abacate era consumido somente como fruta, na forma de purê ou fatias condimentadas com sal, açúcar, segundo os hábitos alimentares das regiões produtoras (SIMÃO, 1971). Atualmente, além do interesse como fruta, o abacate tem sido utilizado como fonte de óleo, cujas características são interessantes não só como óleo comestível, mas como matéria-prima para indústrias de cosméticos (WWW.SPORE.CTA.INT, 2010).

Segundo Crizel *et al* (2008), o Brasil está entre os maiores produtores de abacate, sendo o quarto maior produtor mundial do fruto. Essa colocação mostra o grande potencial do Brasil na área da abacaticultura, contribuindo com expressiva parcela da produção mundial, permitindo expectativas na ampliação da sua produtividade, industrialização e comercialização. Segundo o IBRAF (2005) apud Silveira *et al* (2005), especificamente em relação às frutas tropicais, o Brasil tem se destacado como importante produtor, consumidor e exportador, expandindo o agronegócio e buscando adequação ao mercado consumidor, porém, o volume de exportação ainda é pequeno, principalmente, em vista do elevado volume de perdas estimado em 10 milhões de toneladas/ano, correspondendo a 30-40% da produção.

O clima tropical, com elevada umidade e temperatura, proporciona condições desfavoráveis à conservação de alimentos e principalmente de frutas. Elas ocorrem,

principalmente, devido ao mau acondicionamento e transporte, à inadequada estocagem e conservação das matérias-primas que antecedem a comercialização *in natura* ou a industrialização (MARQUES, 2008).

Desde 1915 inúmeros pesquisadores, em vários países do mundo, vêm tentando a obtenção de uma polpa estável de abacate, utilizando diversos métodos de preservação, tais como: pasteurização, secagem, extração de óleo, congelamento, liofilização, etc (MARTIN, 1992). Alguns destes métodos se baseiam na redução da atividade de água com conseqüente redução do crescimento microbiano e das reações químicas que causam alterações nos alimentos, aumentando assim o tempo de conservação o que é associado à redução no custo de transporte e armazenamento, devido à leveza e compactação, combinadas aos efeitos benéficos da estabilidade dos alimentos (VILELA & ARTHUR, 2008; FELLOWS, 1994).

Um dos processos industriais que tem se mostrado eficiente para a conservação de alimentos é a secagem que, além de ser prático, favorece a qualidade do produto. Porém, nem todo método de secagem favorece na estabilidade do abacate devido a uma série de reações oxidativas e enzimáticas. A liofilização pode ser uma alternativa para o processamento do abacate, uma vez que é um dos métodos de secagem que oferece produtos de elevada qualidade.

A ausência de água líquida e às baixas temperaturas requeridas no processo, o encolhimento e a migração de sólidos solúveis no interior do material são minimizados, a estrutura porosa do material seco facilita a rápida reidratação, a retenção dos componentes antioxidantes e aromáticos voláteis é favorecida e as reações degradativas são minimizadas (MARQUES, 2008).

Desta forma, a liofilização tem grande potencial para assegurar a estabilidade da polpa do abacate, no entanto, se faz necessário estudar os parâmetros que influenciam no processo, como o congelamento e a pressão que afetam diretamente a qualidade do produto que envolve o escurecimento enzimático, lixiviação de sólidos, perdas de compostos bioativos e alterações nas características sensoriais do fruto liofilizado.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Avaliar a influência de parâmetros utilizados na liofilização da polpa de abacate sobre a qualidade do produto, como também do guacamole liofilizado.

### 2.2 Específicos

- Determinar a composição centesimal (umidade, lipídeos, cinzas, proteínas e carboidratos por diferença) do abacate *in natura*;
- Determinar as características físicas (cor e textura) do abacate *in natura*;
- Determinar as características físico-químicas (acidez total titulável, pH e sólidos solúveis totais) da polpa do abacate;
- Determinar a cinética e velocidade de congelamento de cubos da polpa de abacate em temperatura de  $-26^{\circ}\text{C}$  (freezer convencional) e  $-80^{\circ}\text{C}$  (ultrafreezer) e estudar a cinética de liofilização utilizando diferentes condições de pressão (0,12 mbar, 0,37 mbar e 1,07 mbar);
- Estudar a influência da geometria (cubo, disco e paralelepípedo) sobre as características de reidratação da polpa de abacate liofilizada;
- Avaliar a influência dos parâmetros de processo de liofilização e reidratação sobre cor, textura e características físico-químicas (pH, acidez e sólidos solúveis totais) da polpa de abacate;
- Avaliar a influência dos parâmetros de pressão associada à temperatura de congelamento sobre as características de reidratação de cubos da polpa liofilizada;
- Verificar o efeito do processo de liofilização sobre a microscopia da polpa de abacate;
- Determinar a atividade antioxidante dos extratos lipofílicos e hidrofílicos da casca, polpa *in natura*, semente e polpa processada do abacate utilizando 3 métodos (FRAP, DPPH e ABTS);
- Identificar os ácidos graxos presentes nos óleos das polpas desidratadas em secador convectivo ( $50^{\circ}\text{C}$ ) e liofilizada, por meio do sistema de cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massas (GC-MS);

- Determinar a composição de ácidos fenólicos presentes no abacate e polpa processada, pelo sistema de cromatografia líquida ultra rápida (UFLC) acoplado a detector de arranjos de diodo (DAD);
- Avaliar a influência do tratamento térmico (25°C, 50°C, 75°C e 100°C) e liofilização sobre o teor de compostos fenólicos totais da polpa de abacate;
- Avaliar o efeito da substituição do suco de limão por ácido cítrico sobre as características de acidez total titulável, pH, cor e textura do guacamole liofilizado;
- Determinar o grau de diferença entre o guacamole elaborado com a polpa liofilizada, guacamole liofilizado e o guacamole *in natura* por meio do teste de diferença do controle;
- Avaliar a influência do tipo de congelamento (freezer e ultrafreezer) sobre a aceitação sensorial do guacamole elaborado com a polpa do abacate liofilizada e guacamole liofilizado juntamente com a intenção de compra utilizando o teste do consumidor;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Aspectos Gerais Sobre Frutos

Os frutos são os produtos do desenvolvimento de flores ou inflorescências das angiospermas. Alguns são classificados como hortaliças, mas sob aspecto botânico, são frutos, como o tomate, berinjela, pepino, etc (CHITARRA & CHITARRA, 1990). Do ponto de vista fisiológico, os frutos são constituídos de tecidos que suportam os óvulos e cujo desenvolvimento é dependente dos eventos que ocorrem nesses óvulos. Essa definição é bastante genérica, não sendo aplicável aos frutos secos tais como nozes, grãos, folículos e aquênios, nos quais a semente é o produto mais importante (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Os frutos passam por quatro fases de desenvolvimento, a saber: crescimento, maturação, amadurecimento e senescência. O crescimento é marcado por um período de rápida divisão ou alongamento celular. A maturação é caracterizada por mudanças físicas e químicas que afetam a qualidade sensorial do fruto. A maturação sobrepõe-se à parte do estágio de crescimento e culmina com o amadurecimento do fruto, período no qual o fruto se torna apto para o consumo, em virtude de alterações desejáveis na aparência, no sabor, no aroma e na textura. A senescência é o período em que o crescimento cessa e os processos bioquímicos de envelhecimento substituem as trocas químicas do amadurecimento (VILAS BOAS *et al.*, 2001).

De acordo com Chitarra & Chitarra (1990), os frutos são classificados como “climatéricos” e “não climatéricos”, com base nas características respiratórias antes do amadurecimento. Esta classificação é essencial para definir o ponto de colheita e técnicas de manipulação e de armazenamento que possam ser usadas para prolongar a vida pós-colheita (ARCHBOLD & POMPER, 2003).

Frutos não climatéricos após sua colheita, diminuem a sua respiração de maneira contínua até a sua morte. Os frutos climatéricos, como o abacate, têm uma pequena respiração após a colheita, porém chega um momento, que esta respiração começa a aumentar bruscamente até atingir um pico, posteriormente caracterizado por uma queda drástica da atividade respiratória e conseqüentemente envelhecem e morrem (TODAFRUTA, 2004; CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Nas frutas e vegetais, mais de 80% da composição é água, e o nível de água varia amplamente dependendo dos fatores ambientais. Em geral, a água é distribuída uniformemente através da porção comestível da fruta com exceção da pele, a qual usualmente contém menos tecido (MARQUES, 2008). Um fator em comum a todos os frutos carnosos ou polpudos é que eles acumulam água e muitos compostos orgânicos responsáveis pela sua suculência e atratividade. Os tecidos intraloculares (polpa) são formados por intensa atividade meristemática, após a antese<sup>1</sup>, em uma ou mais superfícies locais, ou seja, placenta (tomate), septo<sup>2</sup> (banana e uva) endoterma (banana, laranja, abacate), etc. Os tecidos então preenchem a cavidade por divisão e expansão celular (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

### 3.2 Abacate

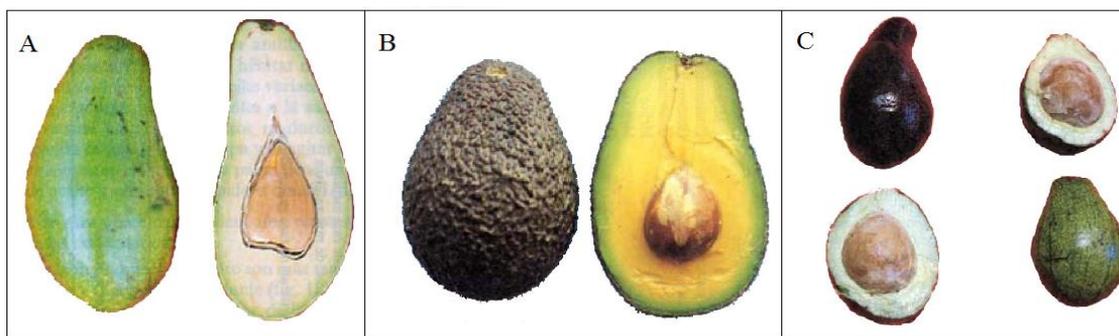
O abacate é uma fruta de árvore de grande porte, pertencente à família *Laureaceae*, tendo espécies *Persea americana* Miller e *Persea drymifolia* Cham, e a qual possui um grande número de híbridos (BOLIVAR, 1970). Presente em regiões anteriormente colonizadas (México, Guatemala e Antilhanas) pelos espanhóis, o abacate (*Persea americana*) se espalhou até a América do Sul e pode ser encontrado em todas as regiões do globo que possuam solos férteis e onde haja calor que seja suficiente.

São conhecidas três cultivares de abacate: Antilhana, Guatemalense e Mexicana. A cultivar Antilhana tem tamanho intermediário entre as duas outras cultivares; a casca é lisa e algumas vezes lustrosa. A Guatemalense é menos resistente a baixas temperaturas que a Mexicana, os frutos são grandes, pesando 500-600 g por unidade; a casca é grossa, opaca ou brilhante. Os abacates da cultivar Mexicana de casca lisa e fina são relativamente pequenos, pesando de 75-300 g. Além dessas variedades existem híbridos de considerável importância comercial, como a cultivar Fuerte que é resultante do cruzamento entre as variedades Mexicana e Guatemalense (RYALL & LIPTON, 1974). A Figura 3.1 mostra as três cultivares de abacate conhecidas.

---

<sup>1</sup> Bot. O desabrochar da flor, que dá saída ao pólen.

<sup>2</sup> S.m. Membrana que separa duas cavidades.



**Figura 3.1.** Cultivares de abacate. (A) Antilhana; (B) Guatemalense e (C) Mexicana.

Fonte: RYALL & LIPTON, 1974.

As cultivares Antilhana e Mexicana florescem e amadurecem num período de tempo mais curto que a Guatemalense. Quando maduros, os frutos da variedade Mexicana possuem maior teor de óleo que os das outras duas cultivares, principalmente a Antilhana (HULME, 1971).

O fruto é formado por epicarpo (casca), mesocarpo (polpa) e endocarpo (semente), em forma de pêra ou ovalada, ou arredondada, com diâmetro de 7 e 10 cm e comprimento de 7 e 10 cm, que pode mudar muito com as numerosas variedades existentes. Outras características inerentes ao abacate é que sua casca, geralmente, verde amarelada, pode apresentar manchas mais ou menos extensas de cor purpúrea, ou pode ser totalmente purpúrea escura a marrom; ela é glabra<sup>3</sup>, lisa ou rugosa, fina como papel ou espessa, lignificada e quebradiça, suave e coriácea (MARANCA, 1992).

Segundo *MARKET RESEARCH ANALYST* (2008), o Brasil está entre os cinco maiores produtores de abacate do mundo com, aproximadamente, 5,4% da produção mundial. O México lidera o ranking com 29,5% da produção de abacate no mundo (IBGE, 2008). Com relação à produção nacional, o estado de São Paulo é o maior produtor nacional, sendo responsável por mais de 50 % da produção. O segundo estado que possui grande produção de abacates é o Paraná, seguido dos estados de Espírito Santo e Rio Grande do Sul (IBGE, 2004 apud OLIVEIRA, 2009). O crescimento deste mercado se deve a dois fatores, o primeiro está relacionado ao aumento do consumo consciente da fruta pelos consumidores devido aos valores nutricionais representados na dieta e o segundo, à melhora na qualidade da fruta resultando na implementação de um

<sup>3</sup> *Adj.* Bot. Que não tem pêlos nem penugens.

padrão de maturidade e melhora no armazenamento e facilidade no transporte (AHMED & BARMORE, 1980).

Atualmente o abacate é uma das frutas mais versáteis, tanto por seu valor culinário quanto pela sua utilização na indústria farmacêutica, de cosméticos (HOHMANN & MENEGUIM, 2005) e biodiesel (HOLANDA, 2004). É classificado como um fruto climatérico e sua textura está estritamente relacionada com a solubilização de substâncias pécnicas. Durante a maturação há a conversão da pectina insolúvel em pectina solúvel, amolecendo e diminuindo a resistência dos frutos (CHITARRA & CHITARRA, 1994).

Em comparação com outras frutas, o abacate tem valor energético altíssimo, devido ao seu alto teor em extrato etéreo (gordura): mais de 134 calorias por 100 gramas, ou seja, o dobro da manga, duas vezes e meia o valor energético da maçã ou do abacaxi, mais de três vezes e meio o da laranja (MARANCA, 1992). A maior parcela do extrato etéreo ou fração lipofílica é composta por ácido oléico, palmítico, linoléico e palmitoléico o que confere o alto potencial antioxidante do abacate (VILLARODRÍGUEZ *et al.*, 2011).

A Tabela 3.1 apresenta a composição centesimal do abacate.

**Tabela 3.1.** Composição centesimal do abacate.

<b>Composição</b>	<b>Abacate</b>
Água (%)	72-85
Carboidratos totais (%)	1,5-2,0
Proteínas (%)	0,8-1,7
Gordura (%)	4-20
Cinza (%)	0,6-1,2
Calorias por 100 gramas (Cal)	50-220

Fonte: MARANCA, 1992.

A classificação oficial do fruto do abacate, segundo Bleinroth & Castro (1992), é um parâmetro importante para avaliar sua qualidade que pode ser determinada em classes compreendendo a coloração da casca da fruta:

- Classe I – Constituída por todas as variedades que apresentam casca verde quando a fruta está madura. Nesta classe encontra-se a maioria das variedades de abacate; e
- Classe II – Constituída por todas as variedades que apresentam casca roxa quando a fruta está madura.

Cada uma das classes, é subdividida entre os tipos 1, 2 ou 3.

- Tipo 1 – Primeira

É constituído por abacates, de uma única variedade, perfeitamente desenvolvidos, “de vez”, limpos e bem formados, sem serem moles, com pendúnculo, de coloração uniforme, isentos de partes deterioradas ou queimadas pelo sol, boa consistência da polpa, isentos de danos causados por pragas e moléstias, impurezas, defeitos de embalagem.

- Tipo 2 – Segunda

É constituído por abacates de uma única variedade, não perfeitamente desenvolvidos, desuniformes no tamanho, porém isentos de deterioração e danos, conforme citado no Tipo 1.

- Tipo 3 – Terceira

É constituído por abacates de duas ou mais variedades, perfeitamente desenvolvidos, “de vez”, apresentando certa tolerância mínima de deterioração e danos causados por moléstias, impurezas e defeitos de embalagem, assim como coloração desuniforme, queimados pelo sol.

### **3.3 Liofilização**

A liofilização é o processo em que a umidade da emulsão congelada é retirada por sublimação, sob alto vácuo e baixa temperatura. O produto obtido é um tipo de esponja seca, que pode facilmente ser reduzida a pó (FODA *et al.*, 1972). A mudança de estado físico da água pode resultar em produtos com maior suscetibilidade a oxidação, uma vez que propicia o rompimento da matriz de sólidos disponibilizando-os para tais reações (DESOBRY *et al.*, 1997).

O grande diferencial da liofilização está no fato do produto permanecer no estado sólido durante todo o processo. A maior parte da água passa do estado sólido para o vapor sem passar pelo estado líquido, preservando assim a estrutura original do

produto, obtendo-se ao final do processo, um produto poroso e com baixa umidade residual. Modificações físico-químicas são inibidas, minimizando a perda de constituintes voláteis ou a perda de atividade biológica ou outra atividade na preservação da estrutura molecular (FORD & DAWSON, 1994; PITOMBO *et al.*, 1994; PITOMBO, 1999; PITOMBO & LIMA, 2003).

Segundo Oetjen (2004), um processo de liofilização otimizado pode ser obtido, se as condições de operação forem controladas, com o objetivo de reduzir o tempo de processo e conseqüentemente minimizar o consumo de energia, sem que ocorra a perda na qualidade do produto liofilizado.

Um dos principais problemas da liofilização é seu alto custo, tanto para o capital de investimento como para a operação do processo (RATTI, 2001). Outro problema está relacionado ao longo tempo de secagem que varia de 1 a 3 dias. Isto ocorre devido à baixa transferência de calor dentro do produto, assim como a baixa pressão de operação do processo. A sublimação consome quase metade da energia total necessária ao processo (45%). O congelamento consome pouca energia, 4%, e a redução da pressão e a condensação dividem igualmente o restante da energia (RATTI, 2001).

Segundo Marques (2008), apesar do alto custo do processo e conseqüentemente do produto final, a liofilização preserva as propriedades químicas e/ou físicas do material, reduz o encolhimento e não ocorre a formação de camadas duras e impermeáveis, além de ser amplamente difundida e utilizada por indústrias farmacêuticas, alimentícias e institutos de pesquisa.

A liofilização dividi-se em três etapas: na primeira o material é congelado, a seguir a água é sublimada sob pressão reduzida, e, numa terceira etapa, a água “incongélável” é removida por dessorção (PITOMBO, 1990).

Durante o congelamento de uma solução a água transforma-se em gelo, num variado, porém alto grau de pureza. Portanto, os constituintes não aquosos são concentrados em uma pequena quantidade de água, resultando em alterações significativas das propriedades da fase não congelada (pH, acidez titulável, força iônica, viscosidade, ponto de congelamento, tensão superficial e interfacial, além do potencial de óxido-redução). Ademais, a estrutura da água e a interação soluto-água podem ser alteradas (PITOMBO, 1990).

A etapa de congelamento durante a liofilização é considerada tão importante quanto a etapa de secagem, devido ao seu efeito potencial sobre o produto (JUNIOR, 2008). O sucesso da liofilização depende significativamente deste estágio, uma vez que ele define a forma do poro, o tamanho do poro, a distribuição dos poros e a conectividade dos poros na camada seca formada durante a sublimação, e influenciando, conseqüentemente, os parâmetros que caracterizam a transferência de massa e calor no produto seco durante a secagem primária e secundária (MARQUES, 2008).

Um congelamento mais rápido gera pequenos cristais de gelo devido ao supercongelamento da água em temperaturas abaixo de  $-15^{\circ}\text{C}$ . De modo oposto, uma taxa de resfriamento mais lenta gera cristais maiores. O tamanho dos cristais determina o tamanho dos poros a serem criados durante a secagem subsequente. Grandes cristais de gelo criam poros maiores, conduzindo à uma rápida sublimação da água durante a secagem primária, mas a secagem secundária pode ser lenta devido à menor área de superfície formada, limitando a dessorção da água durante esta etapa. Para manter um equilíbrio, tem sido recomendado um grau moderado de supercongelamento (WANG, 2000).

O tamanho final, a distribuição dos cristais de gelo, e, conseqüentemente, a porosidade e textura final do produto liofilizado, são determinados pela taxa de congelamento utilizada. Geralmente os materiais a serem liofilizados são de natureza complexa e apresentam, na maioria das vezes, conteúdo de água superior a 80%, princípio ativo e excipientes (JUNIOR, 2008).

De acordo com Pitombo (1990), alguns autores estabeleceram escalas de velocidade de congelamento, em  $^{\circ}\text{C/s}$  (graus Celsius por segundo):

- Muito-lento:  $< 0,01^{\circ}\text{C/s}$ ;
- Lento: de  $0,01^{\circ}\text{C/s}$  a  $0,06^{\circ}\text{C/s}$ ;
- Rápido: de  $0,06^{\circ}\text{C/s}$  a  $50^{\circ}\text{C/s}$  e
- Super-rápido:  $> 50^{\circ}\text{C/s}$ .

Na sublimação o vapor de água produzido é transportado por difusão através dos poros da estrutura da camada seca e atingem a câmara de secagem do liofilizador. Ao final da secagem primária, o conteúdo de umidade residual no produto está em torno de 10 a 15% e ao final da secagem secundária este chega a níveis abaixo de 3% (BORGOGNONI, 2009).

A dessecção consiste na retirada de água que está ligada à estrutura do material. Ocorre com velocidade menor que a sublimação, já que a concentração de umidade é menor e a água não está livre (5% a 10% do total de água do material). O tipo de fornecimento de calor é o mesmo que na sublimação e a temperatura não deve exceder 30 ou 50°C dependendo do material (MARQUES, 2008).

Durante o processamento da polpa de abacate que inclui o congelamento e liofilização, os substratos de polifenóis são disponibilizados para reações com enzimas polifenoloxidase e oxigênio, resultando em alterações na aparência em pouco período de tempo. Alguns trabalhos reportaram como um problema operacional a extrema suscetibilidade do escurecimento enzimático da polpa do abacate submetido ao congelamento e liofilização (BASTES, 1968; GOMEZ & BATES, 1970). Alguns autores utilizam tratamentos com altas temperaturas, agentes antioxidantes, sequestrantes, ácidos e altas pressões para controlar a atividade dos polifenóis presentes na polpa do abacate, minimizando alterações no produto processado (DAIUTO, *et al.*, 2009).

### **3.4 Cinética de Secagem**

O estudo sobre o comportamento cinético e mecanismo de transferência de massa do processo de liofilização ainda são escassos devido a sua complexidade. Assim sendo, faz-se necessário avaliar o efeito dos parâmetros utilizados no processo sobre o comportamento cinético de liofilização e correlacionar com modelos existentes na literatura. O elevado consumo de tempo e energia requeridos na liofilização faz do processo um meio caro para conservar alimentos. Em razão disto, o uso de modelos matemáticos que podem prever satisfatoriamente a dinâmica do comportamento dos vários estágios do processo são efetivados para reduzir o número de experimentos e prever o fim do processo.

Modelos empíricos e semi-empíricos são encontrados na literatura para descrever a cinética de secagem e buscar a melhor forma de ajuste que represente os dados experimentais encontrados na pesquisa. A Tabela 3.2 mostra as equações semi-empíricas mais utilizadas para representar a cinética de secagem de alimentos.

Em analogia à lei de resfriamento de Newton, Lewis (1921) propôs uma equação conhecida como equação de Lewis. Outras equações oriundas de modificações

empíricas da equação de Lewis, também foram desenvolvidas, sendo  $k$  e  $n$  parâmetros ajustáveis. O parâmetro  $k$ , denominado constante de secagem varia com a temperatura segundo uma função do tipo Arrhenius.

Os parâmetros das equações agrupadas na Tabela 3.2 apresentam uma forte dependência com variáveis operacionais, fazendo com que a aplicação das mesmas fique na faixa de condições de operação na qual foram estimadas (MARQUES, 2008).

**Tabela 3.2.** Equações semi-empíricas para a cinética de secagem em razão de umidade (RU).

<b>Equação</b>	<b>Representação Matemática</b>	<b>Referência</b>
<b>Lewis</b>	$RU = \exp(-k * t)$ (3.1)	LEWIS (1921)
<b>Page</b>	$RU = \exp(-k * t^n)$ (3.2)	PAGE (1949)
<b>Brooker</b>	$RU = a * \exp(-k * t)$ (3.3)	BROOKER <i>et al.</i> (1974)

### 3.5 Propriedades de Reidratação de Alimentos Desidratados

Os produtos desidratados geralmente são destinados ao consumo direto e são usualmente reidratados por imersão em água ou outros líquidos como leite, suco de frutas, soluções de açúcar, etc.

As características de reidratação de produtos secos são propriedades importantes para caracterizar a qualidade de produtos que devem ser reconstituídos antes do seu consumo (GARCIA-PASCUAL *et al.*, 2006). A absorção de água deve ser rápida e em maior volume possível, a fim de aumentar o rendimento dos produtos instantâneos (PORTO, 2001). Assim, o conhecimento da cinética de reidratação é importante para otimizar o processo do ponto de vista quantitativo e avaliar as injúrias causadas ao tecido vegetal pelo processo de secagem.

A quantidade e a taxa de água absorvida determinam as propriedades sensoriais e o tempo de preparação necessário pelo consumidor. Durante a reidratação, a mudança no volume dos materiais biológicos é geralmente proporcional à quantidade absorvida de água: o aumento do volume devido à absorção de água iguala o volume de água absorvida (STEFFE & SINGH, 1980).

Durante a reidratação, a absorção de água é rápida durante as primeiras etapas, então a taxa diminui gradativamente e o teor de umidade aproxima do equilíbrio, a água

enche praticamente os poros disponíveis e o material se recupera de uma percentagem considerável do seu teor de umidade original (LEE *et al.*, 2006).

Ao reidratar frutas liofilizadas (acerola, abacaxi, manga, mamão e goiaba), MARQUES (2008) constatou a maior razão de reidratação para acerola e a menor para abacaxi atribuindo estes resultados às alterações estruturais como espaços intercelulares ocorridas durante o processo de secagem. Da mesma forma Lee (2006) estudando diferentes tipos de frutas observou que elas possuem diferentes taxas de reidratação que variam de acordo com sua estrutura microscópica e respectivas características celulares, embora sejam secas em condições semelhantes.

Os modelos baseados na teoria da difusão são os mais encontrados na literatura para representar o processo de reidratação de materiais secos (GARCÍA-PASCUAL *et al.*, 2006). O modelo proposto por Peleg é uma equação não-exponencial de dois parâmetros. Esta equação foi aplicada para representar a reidratação de diferentes tipos de alimentos (PELEG, 1988; SANJUÁN, 1999; GARCÍA-PASCUAL *et al.*, 2006). A distribuição de Weibull descreve o processo como uma seqüência de eventos probabilísticos, tem encontrado ampla aplicação no processamento de alimentos, e tem sido sugerido para reidratação de alimentos por vários autores (GARCÍA-PASCUAL *et al.*, 2006; MACHADO, 2008; MARQUES, 2008). As equações descritas anteriormente estão apresentadas a seguir:

$$X_{b.s.} = X_0 + \left[ \frac{t}{k_1 + k_2 \times t} \right] \text{ Modelo de Peleg;} \quad (3.4)$$

$$X_{b.s.} = X_e + (X_0 - X_e) \exp \left[ - \left( \frac{t}{\theta} \right)^\psi \right] \text{ Modelo de Weibull;} \quad (3.5)$$

Sendo  $X_{b.s.}$  a umidade em base seca (g água/g sólido seco);  $X_0$  a umidade inicial do produto a ser reidratado (g água/g sólido seco);  $X_e$  a umidade de saturação (g água/g sólido seco);  $k_1$  e  $k_2$  os parâmetros de Peleg;  $\psi$  e  $\theta$  os parâmetros de Weibull.

Durante o processo de reidratação de um produto desidratado ocorre não somente o ganho de umidade, mas também perdas de sólidos solúveis da amostra para o meio reidratante. Tais perdas podem representar significativas mudanças no teor de vitaminas, açúcares, aminoácidos e minerais do produto (MARQUES, 2008). No

entanto, o estudo do ganho de água em função da razão de umidade do produto não revela nenhuma informação sobre fluxos de água absorvida e de solutos lixiviados. Desta forma, os índices reportados por Lewick (1998) e Marques (2008) são fundamentais para estudar o comportamento de reidratação de alimentos secos. Estes índices avaliam a capacidade de absorção de água (WAC), a capacidade de retenção de matéria seca (DHC) e a capacidade de reidratação (RA).

O índice WAC informa a capacidade de um material absorver água em relação à quantidade de água perdida durante a secagem variando de 0 a 1, sendo calculado pela seguinte equação:

$$WAC = \frac{mr(100-sr) - md(100-sd)}{mo(100-so) - md(100-sd)} \quad (3.6)$$

Em que m é a massa da amostra (g), s é o conteúdo de sólido seco (%) e o, d e r se referem ao material antes da secagem, após a secagem e após a reidratação, respectivamente. Quanto maior o índice, maior capacidade de absorção de água é perdida durante a secagem.

O índice DHC avalia a capacidade de o material reter sólidos solúveis após a reidratação podendo fornecer informações sobre os danos dos tecidos e a sua permeabilidade aos solutos, variando de 0 a 1. É calculado por:

$$DHC = \frac{mr * sr}{md * sd} \quad (3.7)$$

Por último, o índice RA mede a capacidade do produto seco de se reidratar e mostra os danos totais causados pelos processos de secagem e reidratação na estrutura do material. Quanto menor o índice, maior o dano causado. Pode ser calculado por:

$$RA = WAC * DHC \quad (3.8)$$

## **3.6 Parâmetros de Qualidade em Frutas**

### **3.6.1 Atividade antioxidante em frutas**

O estudo da atividade antioxidante de compostos presentes naturalmente no abacate vem sendo foco de diversos trabalhos científicos devido à sua representatividade no combate a doenças (BERTLING *et al.*, 2007; VILLA- DAIUTO *et al.*; 2009; RODRÍGUEZ *et al.*, 2011).

Compostos antioxidantes podem ser definidos como quaisquer substâncias que, atrasam ou inibem a oxidação de substrato oxidável de maneira eficaz, mesmo quando presentes em baixas concentrações (SIES & STAHL, 1995). A utilização de compostos antioxidantes, encontrados na dieta ou mesmo sintéticos, é um dos mecanismos de defesa contra os radicais livres que podem ser empregados nas indústrias de alimentos, cosméticos, bebidas e também na medicina (DOROSHOW, 1983; HALLIWELL *et al.*, 1995).

A obtenção de energia para o desenvolvimento dos processos biológicos em seres vivos depende diretamente do processo oxidativo, porém, produzem radicais livres e outras espécies de oxigênio altamente reativas. Os produtos dessa oxidação podem reagir desordenadamente com os lipídeos da membrana celular dentro do organismo humano, e também com outros compostos como proteínas e ácidos desoxirribonucléico (DNA), favorecendo o desenvolvimento de doenças degenerativas como artrite, aterosclerose, diabetes e cirrose, além de contribuir para o envelhecimento humano e risco de câncer (HALLIWELL & GUTTERIDGE, 1999; SATO *et al.*, 1996).

Os seres humanos, igualmente aos demais seres aeróbicos, conseguem tolerar a presença dessa oxidação natural graças a mecanismos de defesa adquiridos em muitos anos de evolução, onde usam sistema de transporte de elétrons e sistemas enzimáticos para protegerem o organismo como um todo dos efeitos tóxicos do oxigênio, ou seja, mecanismos de ação antioxidante. O corpo humano, muitas vezes, é submetido a condições extremas de oxidação, intensificadas pela ação de poluentes e contaminantes químicos, de modo que a formação de radicais livres estaria muito acima da capacidade das defesas do corpo humano de removê-las, ocasionando o “estresse oxidativo” (AROUMA *et al.*, 1991).

A principal fonte natural de compostos com ação antioxidante como, por exemplo, o ácido ascórbico e tocoferol (vitaminas C e E, respectivamente), além de compostos fenólicos como antocianinas e flavonóides, são os alimentos. Alguns minerais presentes na alimentação como zinco, selênio e ferro também são considerados antioxidantes, pois são constituintes de algumas enzimas envolvidas na proteção contra o estresse oxidativo (PRAKASH, 2001; SIMPSON, 2006).

Os vegetais em geral, assim como todos os alimentos e bebidas derivadas destes, são ricos em vários tipos de antioxidantes, como vitaminas C e E, alfa-tocoferol, beta caroteno e compostos fenólicos, os quais constituem a maioria dos compostos com atividade antioxidante (MOURE *et al.*, 2001). A maioria dos compostos antioxidantes numa dieta típica é derivada de fontes vegetais e pertencem a várias classes de compostos com uma grande variedade de propriedades físicas e químicas. Na ciência de alimentos, os antioxidantes têm um amplo espectro de atuação, no qual se incluem componentes que previnem rancidez em óleos, assim como os antioxidantes da dieta (PRAKASH, 2001; FENNEMA, 2004; SIMPSON, 2006).

Desta forma, o consumo de frutas não está sendo encarado apenas como um gosto preferencial ou pessoal por parte dos consumidores, mas com o objetivo de manter uma dieta saudável e rica em nutrientes. Além de compostos essenciais, a maioria das frutas apresenta quantidades consideráveis de micronutrientes, tais como fibras, minerais, vitaminas e compostos fenólicos secundários de extrema importância para a saúde humana (RUFINO, *et al.*, 2010). Grande parte desses compostos pertence a classe dos antioxidantes e são encontrados naturalmente em várias espécies vegetais e essencialmente na fração hidrofóbica do abacate (NUNEZ & MERCADANTE, 2004).

A fração lipofílica do abacate é rica em ácidos graxos insaturados. Em estudos feitos por Ding *et al.* (2007), os compostos lipofílicos da polpa como os carotenóides, apresentaram um potencial anticarcinogênico. Os antioxidantes lipossolúveis de ocorrência natural, como os tocoferóis, protegem a fração lipídica da oxidação, bloqueando a ação dos radicais livres, convertendo-os em produtos estáveis por meio da doação de hidrogênio ou elétrons, e contribuem para a atividade antioxidante global do alimento (ARAÚJO, 1999).

Até o momento, não foi encontrado estudos que comprovem o efeito do processamento que envolve o tipo de congelamento, liofilização e reidratação sobre a

capacidade antioxidante de polpa de abacate variedade Collinson tornando-se necessário estudar sobre a delimitação de parâmetros utilizados no processamento que favoreçam na elaboração de produtos liofilizados, minimizando as perdas de compostos bioativos essenciais.

### **3.6.2 Textura**

Nos alimentos em geral, a textura é um dos atributos mais importantes entre aqueles que afetam a preferência e a aceitação por parte dos consumidores. Para cada alimento, existe uma série de fatores básicos de qualidade e uma série de características de textura que são apreciados pela maior parte dos consumidores (RODRIGUES, 1999).

Segundo Fiszman (1998) a textura é um conceito puramente sensorial, cuja percepção pode se distinguir entre características: mecânicas, geométricas, de composição química, acústicas, visuais e térmicas.

A alteração na firmeza é a principal característica do amadurecimento de muitos frutos. Nas plantas, a resistência mecânica e a firmeza estão relacionadas com a estrutura e organização celular. Nos frutos, as células da polpa são delimitadas por uma parede primária e cada célula está conectada à adjacente por uma lamela média (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

A textura de produtos sólidos pode ser determinada instrumentalmente por meio das propriedades mecânicas. Essas propriedades foram determinadas por Azondanlou *et al.* (2004), para avaliar a variação da textura de morangos em diferentes graus de maturação encontrando diferença entre os diversos estádios, e por Rodrigues *et al.* (2003), que constatou mudanças de textura durante a desidratação osmótica de mamões.

As propriedades mecânicas de alimentos celulares dependem largamente da sua composição e da maneira como estes são processados. A liofilização tem sido um método muito indicado para manutenção das propriedades mecânicas de produtos alimentícios, porém o tipo de congelamento empregado antes do processo exerce grande influência na qualidade da textura. O grau de maturação da fruta e os parâmetros de processamento também são fatores que influenciam fortemente essas propriedades (STOLLE-SMITHS *et al.*, 2000).

### 3.6.3 Colorimetria

A cor é um atributo de importância fundamental no julgamento da qualidade de um alimento, uma vez que a apreciação visual é o primeiro dos sentidos a ser usado, sendo, portanto uma característica decisiva na escolha e aceitação do produto (MARQUES, 2008). A cor pode ser utilizada como um índice de transformações naturais de alimentos frescos ou de mudanças ocorridas durante o processamento industrial, sendo assim um importante parâmetro de qualidade (SATO, 2005).

De acordo com Almeida (1995) e Gimeno *et al.*, (2000), a identificação da cor através de instrumento como o colorímetro pode ser utilizada como parâmetro para estabelecimento de padrão de qualidade de um produto *in natura* ou processado, ou ainda como fator de qualidade determinante da vida de prateleira de um produto, quando se estuda a sua variação com o tempo de estocagem.

Segundo Ribeiro & Seravalli (2004), a cor de um alimento deve-se a presença de pigmentos naturais, que são instáveis, participam de diferentes reações e, em função disto a alteração de cor de um alimento é um indicador das alterações químicas e bioquímicas possíveis de ocorrer durante o processamento e estocagem.

Em 1976, a CIE (Comissão Internationale l'Eclairage) recomendou o uso da escala de cor CIE L\* a\* b\*. O máximo valor de L\* (luminosidade) é 100, e representa uma perfeita reflexão difusa, enquanto que o valor mínimo é zero e constitui o preto. Os eixos a\* e b\* não apresentam limite numéricos específicos. A coordenada a\* varia do vermelho (+a\*) ao verde (-a\*), e a coordenada b\* do amarelo (+b\*) ao azul (-b\*) (ABNT, 1992; OLIVEIRA *et al.*, 2003). O parâmetro C representa a cromaticidade e o H (*Hue*) representa a matiz.

Estudando a cor de frutas liofilizadas, Marques (2008) verificou a partir da análise dos parâmetros L\*, a\* e b\* que a deterioração da cor após o processo não foi considerável. Kluge *et al.* (2002) observaram alterações no brilho (L\*) da casca ao estudar a inibição do amadurecimento de abacate com 1-metilciclopropeno, assim como alterações na cor da polpa na região do caroço mudando de amarelo para amarelo-claro (creme), podendo ser verificado pela redução nos valores de b\* durante o armazenamento.

#### **3.6.4 Análise sensorial**

A análise sensorial é uma ciência que utiliza as qualidades psicológicas e fisiológicas do ser humano para avaliar e gerar respostas sobre as características de aparência, aroma, sabor e textura de alimentos (MANFUGÁS, 2007). Segundo Chaves (1993), a análise foi criada para que o resultado de sensações deste tipo de questionamento fornecesse uma resposta precisa e reproduzível.

Devido às constantes alterações nos hábitos alimentares, crescente produção e desenvolvimento de novos produtos alimentícios, a utilização de testes que representam a opinião do consumidor com segurança e eficiência se torna necessária. Desta forma, testes sensoriais são realizados em produtos específicos, como frutas desidratadas, para direcionar o gosto e a preferência do público alvo em questão (SANTOS, 2011).

Os métodos sensoriais são divididos em dois grandes grupos: analíticos e afetivos. Os métodos analíticos são aplicados em avaliações que necessitam de seleção e/ou treinamento da equipe, como também se faz necessário avaliar objetivamente os consumidores onde são consideradas as preferências ou opiniões pessoais dos membros da equipe (ABNT, 1993). O método se divide em dois grandes grupos: testes discriminativos (de diferença) e descritivos (FERREIRA *et al.*, 2000).

Os testes afetivos avaliam diretamente a opinião (preferência e/ou aceitabilidade) do consumidor, sobre características específicas do produto ou ideia sobre o mesmo, sendo também chamando de teste do consumidor. O teste afetivo se divide em dois: teste de aceitação e teste de preferência (MEILGAARD *et al.*, 1991). A escolha do teste é extremamente importante para a avaliação sensorial, pois a correta aplicação definirá a relevância das respostas obtidas para o sucesso do estudo.

A secagem por liofilização, apesar dos aspectos positivos, pode alterar as características sensoriais e o valor nutricional de frutos, e o grau de alterações depende de condições e parâmetros utilizados no processo de secagem, além das características particulares de cada produto. As frutas liofilizadas tendem a preservar o sabor, o aroma, cor e textura originais do fruto fresco, necessitando de testes sensoriais eficientes para avaliar a intensidade de mudanças ocorridas após o processo. Alguns trabalhos avaliaram a qualidade sensorial de frutas desidratados como: maçãs desidratadas em secador convectivo (VASQUES, *et al.*, 2006); banana da prata e da terra desidratadas em secador convectivo (PONTES *et al.*, 2007); graviola liofilizada (SANTOS, 2011).

De acordo com a alta suscetibilidade da polpa do abacate a reações de degradação, a exigência dos consumidores por produtos de qualidade e poucos estudos sobre a parametrização da liofilização do abacate, torna-se necessário um estudo mais aprofundado para avaliar tais respostas.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Local da Pesquisa**

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Processamento de Produtos de Origem Vegetal, Laboratório de Processamento de Produtos de Origem Animal e Laboratório de Flavor e de Análises Cromatográficas, no Núcleo de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal de Sergipe, Campus de São Cristóvão.

### **4.2 Material**

Os frutos de abacate da variedade Collinson foram adquiridos do Centro de Abastecimento do município de Aracaju – SE. Os frutos foram visualmente selecionados avaliando a integridade física, coloração e tamanho, buscando uma maior homogeneidade no estágio de maturação indicado pelo valor da relação acidez total titulável e sólidos solúveis totais (*ratio*). Depois de selecionadas, foram transportadas para o Laboratório onde passaram por processos de sanitização e processamento.

### **4.3 Preparo das Amostras**

Depois de selecionados, os abacates foram submetidos a pesagens e determinação da cor da casca, a fim de se obter a caracterização fisiológica inicial. Posteriormente, os mesmos foram lavados em água corrente para retirar sujidades mais grosseiras provindas do mercado. Em seguida foram sanitizados em solução de 200 ppm de cloro residual por 20 minutos para eliminar possíveis microorganismos que resistiram à etapa anterior.

Após a sanitização, parte dos frutos foram descascados e cortados com o auxílio de facas de aço inoxidável previamente sanitizadas, e alíquotas da polpa foram submetidas à caracterização com análises físicas, físico-químicas e químicas.

A outra parte dos frutos passou por um tratamento térmico de 25°C, 50°C e 75°C e 100°C por 10 minutos em duplicata para determinação de compostos fenólicos totais. O resíduo dos frutos foi pesado para obtenção de rendimento do fruto.

A fim de avaliar a influência das diferentes geometrias no processo de reidratação as amostras foram cortadas, congeladas e liofilizadas (0,12 mbar) nas seguintes formas:

- Disco: cortados com fôrma padronizada em 25 mm de diâmetro e 10 mm de espessura;
- Cubo: modelado com cortador de verduras de aço inox em arestas de 10 mm e
- Paralelepípedo: cortados com faca de aço inoxidável, sendo as medidas das arestas de 10, 20 e 30 mm realizadas com o auxílio de um paquímetro.

A geometria com melhores propriedades de reidratação foi escolhida para estudar a influência do congelamento e pressão sobre a qualidade da polpa liofilizada do abacate.

### 4.3 Processo de Congelamento

As polpas em forma de cubo foram submetidas ao congelamento em ultrafreezer (-80°C) e ao congelamento em freezer convencional (-26°C). Durante esta etapa, foi determinada a taxa de congelamento através de termopares acoplados às amostras até que a temperatura no centro da amostra atingisse temperatura do ambiente e estabilizasse.

Para construção das curvas de congelamento, foi utilizado um termopar acoplado a um termômetro digital e posicionado no centro das amostras em que se registrou manualmente a temperatura em função do tempo até atingir o equilíbrio. A velocidade de congelamento ( $V_c$ ) foi calculada com base na metodologia proposta por Marques (2008), utilizando a equação abaixo.

$$V_c = \frac{T_i - T_f}{\Delta\tau} \text{ [}^\circ\text{C/s]} \quad (4.1)$$

Em que,  $T_i$  e  $T_f$  são as temperaturas inicial e final do material, respectivamente, e  $\Delta\tau$  o tempo necessário para a temperatura cair de  $T_i$  para  $T_f$ .

### 4.4 Processo de Liofilização

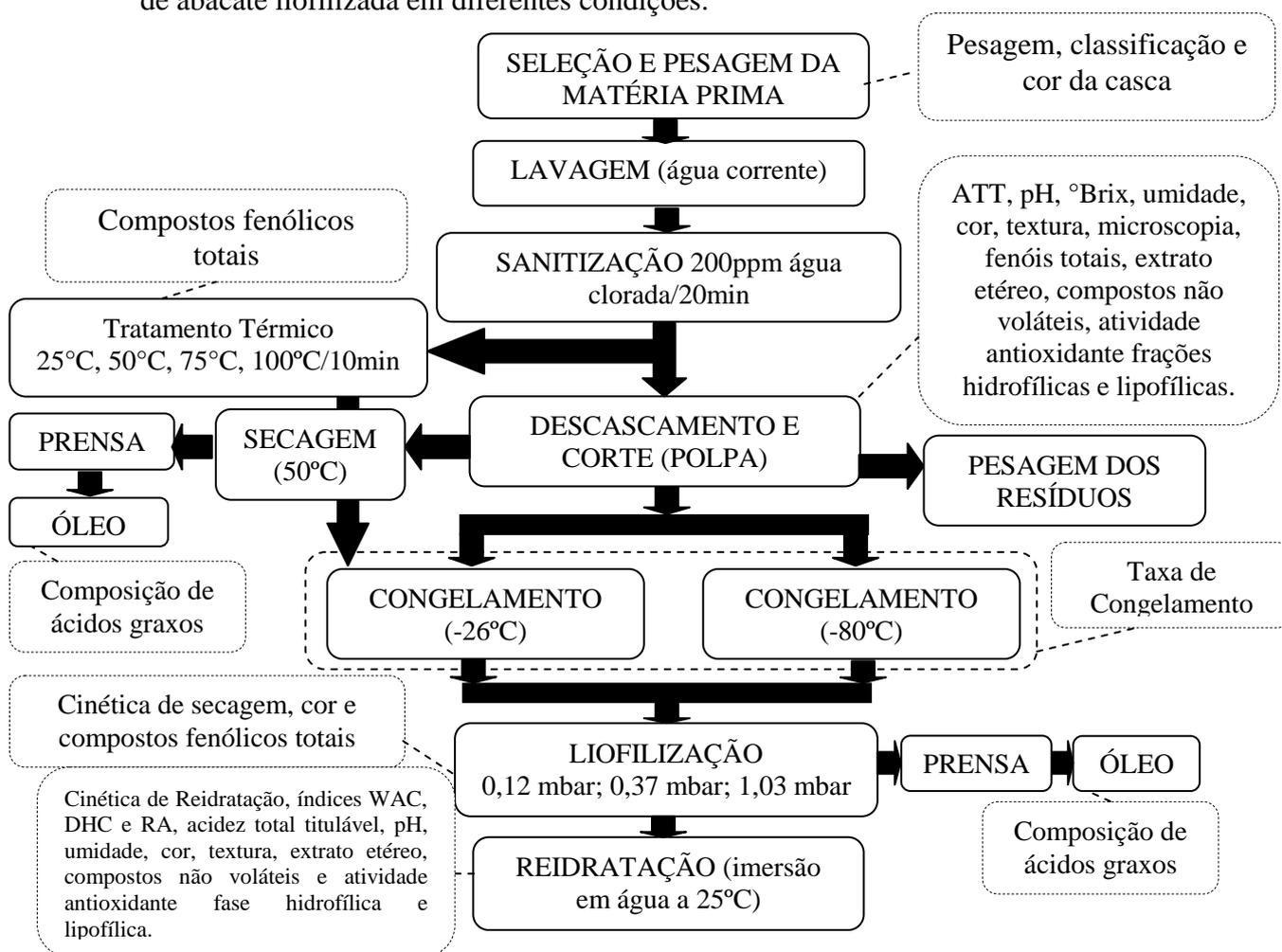
Após as etapas de congelamento, aproximadamente 25 g das amostras foram secas em liofilizador da marca Christ® modelo Alpha 1-2 LSC. Pressões de 0,12 mbar,

0,37 mbar e 1,07 mbar foram estudadas, sendo que para cada pressão, a temperatura de sublimação dentro da câmara foi automaticamente alterada para -40°C, -30°C e -20°C, respectivamente.

Para determinação da cinética de secagem, as amostras foram retiradas da câmara de liofilização e pesadas periodicamente em balança analítica com precisão de  $\pm 0,001$  g em intervalos de tempo de 30 minutos e então retornadas ao processo de liofilização. Esse processo se repetiu até que as amostras alcançassem massas constantes. Ao fim do processo, determinou-se a umidade das amostras em estufa a 105°C até peso constante segundo a metodologia do IAL (2008) e submetidas às mesmas análises feitas na polpa *in natura*.

#### 4.4.1 Fluxograma do Processo para Obtenção da Polpa Liofilizada

A Figura 4.1 apresenta o fluxograma do processamento para obtenção da polpa de abacate liofilizada em diferentes condições:



**Figura 4.1.** Fluxograma do processo para obtenção da polpa liofilizada de abacate.

#### 4.5 Tratamento Térmico nos Frutos

Os frutos foram submetidos ao tratamento térmico (25°C, 50°C, 75°C e 100°C) em banho-maria até que a polpa próxima à semente atingisse a temperatura estabelecida e permanecesse por 10 minutos. Utilizou-se uma temperatura para cada tratamento e um termopar acoplado a termômetros digitais para aferir a temperatura interna dos frutos. Após o tratamento térmico, parte da polpa de cada tratamento foi liofilizada na pressão de 0,12 mbar. Avaliou-se o teor de fenóis totais da polpa tratada termicamente e liofilizada a fim de se estudar a influência de ambos os processos independentes e combinados sobre a composição de fenólicos totais.

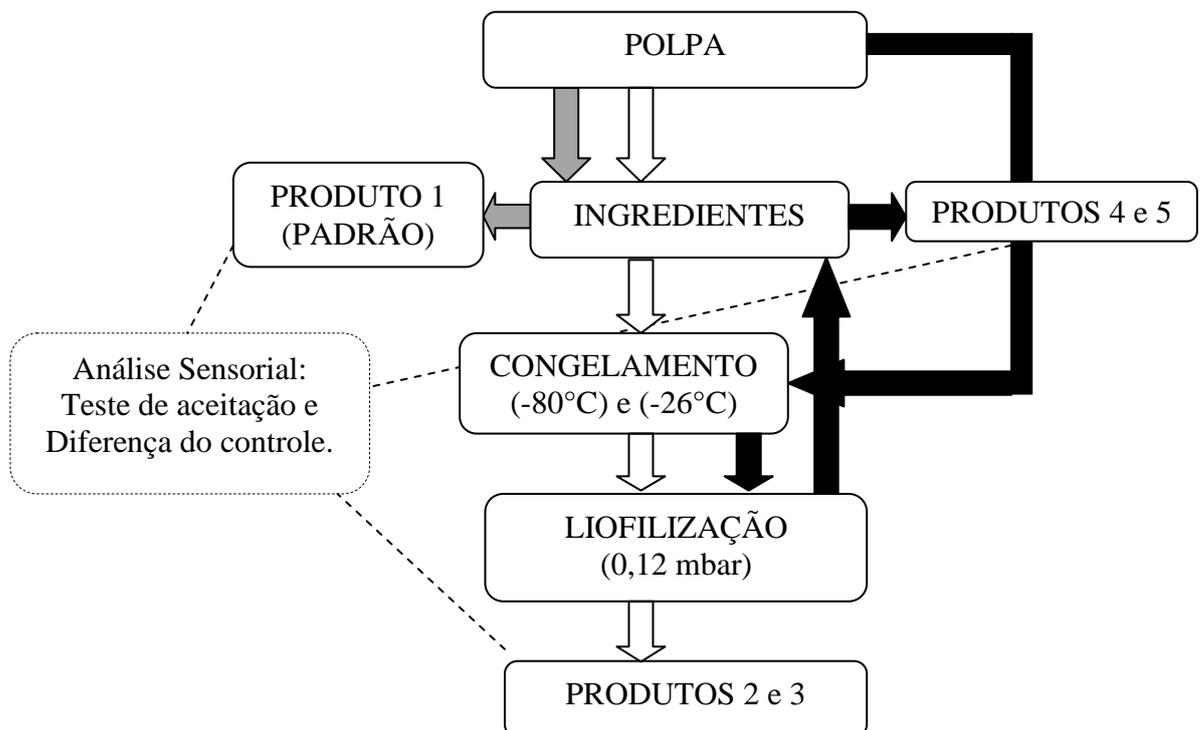
#### 4.6 Fluxograma para obtenção do guacamole

Para formulação do guacamole, além de conter 65% de polpa de abacate, era constituída de molho de pimenta (2,1%), cebola (7,35%), tomate (20,05%), azeite (2,97%), coentro (0,78%) e sal (1,63%). O limão, tradicionalmente utilizado na salada, foi substituído pelo ácido cítrico (0,11%), para se evitar o escurecimento e sabor amargo típico do suco de limão oxidado.

A fim de se avaliar a influência do congelamento e liofilização sobre as características sensoriais, foi elaborado 5 tipos de guacamole mostrados a seguir:

- Produto 1 (Controle): Guacamole *in natura* ou controle, que não passou pelo processo de liofilização;
- Produto 2 (GF): Guacamole liofilizado previamente congelado em freezer convencional a temperatura de -26°C;
- Produto 3 (GU): Guacamole liofilizado previamente congelado em ultrafreezer a uma temperatura de -80°C;
- Produto 4 (PF): Guacamole elaborado com a polpa congelada à -26°C e liofilizada, adicionada de ingredientes *in natura*;
- Produto 5 (PU): Guacamole elaborado com a polpa congelada à -80°C e liofilizada, adicionada de ingredientes *in natura*;

O fluxograma para obtenção dos 5 tipos de guacamole liofilizado pode ser observado na Figura 4.2 abaixo:



**Figura 4.2.** Fluxograma do processo para obtenção de guacamole.

#### 4.6.1 Adição de ácido cítrico na formulação de guacamole

A fim de se avaliar a influência do ácido cítrico sobre a cor, pH, ATT e textura do guacamole, elaborou-se três formulações da salada com diferentes concentrações do agente, na qual se definiram os tratamentos AC1, AC2 e AC3 com 1,05, 2,10 e 3,15gácido cítrico/100g, respectivamente.

### 4.7 Caracterização do Abacate e Guacamole

#### 4.7.1 Classificação oficial do fruto

Para determinar a classificação oficial dos abacates, foi utilizada a norma proposta por Bleinroth & Castro (1992) que compreende a coloração da casca e desenvolvimento dos frutos após a colheita, além de qualificar os estado de preservação, de acordo o item 3.2.

## **4.7.2 Metodologias de extração**

### **4.7.2.1 Extrato etanólico para compostos fenólicos totais**

Os extratos etanólicos para determinação dos compostos fenólicos totais foram obtidos seguindo a metodologia proposta por Tremocolde (2011). Após o tratamento térmico dos frutos, pesaram-se, aproximadamente, 3,0 g da polpa, e esta foi transferida para tubos tipo Falcon onde foram adicionados 30 mL da mistura etanol:água (80:20 v/v). Os tubos contendo a polpa do fruto e o solvente foram submetidos ao vórtex por 2 minutos para homogeneização da mistura. Em seguida, os extratos foram centrifugados a 4200 rpm durante 15 minutos a temperatura ambiente. Na sequência os extratos foram filtrados e armazenados em frascos escuros a temperatura de 8°C, até o momento das análises.

### **4.7.2.2 Metodologia de extração para determinação da atividade antioxidante**

#### **4.7.2.2.1 Fração hidrofílica**

Os extratos da fração hidrofílica foram obtidos de acordo a metodologia proposta por Shivashankara *et al.* (2004) apud Villa-Rodríguez *et al.* (2011), com algumas modificações. Aproximadamente, 6 g de amostra foi homogeneizada com 20 mL de metanol 80% usando bastão de vidro. A mistura foi sonicada por 45 minutos em ultrasson e centrifugada a 4200 rpm por 15 minutos à 4°C. O sobrenadante foi coletado e o precipitado foi extraído novamente com 5 mL de metanol 80% nas condições previamente descritas. Os dois sobrenadantes coletados foram misturados e filtrados em papel filtro Watman nº 1. Os filtrados foram concentrados em evaporador rotativo, diluídos em 3 mL de metanol P.A e armazenados à -26°C para análises de ABTS, DPPH, FRAP e determinação de compostos não-voláteis.

#### **4.7.2.2.2 Fração lipofílica**

A extração dos componentes lipofílicos foi feita de acordo a metodologia de Huang *et al.* (2002) apud Villa-Rodríguez *et al.* (2011). Aproximadamente 6 g de amostra foi homogeneizada com 20 mL de acetona P.A. usando bastão de vidro. A

mistura foi sonicada por 45 minutos em ultrasson e centrifugada a 4200 rpm por 15 minutos à 4°C. O sobrenadante foi coletado e o precipitado foi extraído novamente com 5 mL de acetona P.A. nas condições previamente descritas. Os dois sobrenadantes coletados foram misturados e filtrados em papel filtro Watman nº 1. Uma alíquota do extrato foi diluída em 1:10 (v/v) de 7% de Tween 40<sup>®</sup> (Monopalmitato de Polixietileno Sorbitan) preparado com uma mistura de 50% de acetona-água (v/v), a fim de emulsificar e disponibilizar a fração lipídica para reação. Depois os extratos foram armazenados à -26°C até o momento das análises.

#### **4.7.3 Determinação do pH**

Para determinação do pH foi pesada 10 g de amostra (polpa e guacamole) em um béquer e diluída em 100 mL de água. A mistura foi homogeneizada até que ficassem uniformemente suspensas. O valor do pH foi determinado em phmetro, calibrado com soluções-tampão pH 4,0 e 7,0 de acordo as normas recomendadas pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL 2008).

#### **4.7.4 Determinação da acidez total titulável (ATT)**

A acidez total titulável (ATT) foi determinada segundo o Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), pesando-se, aproximadamente, 5 g da amostra e transferindo-a para um erlenmeyer de 125 mL juntamente com 50 mL de água destilada adicionando-se 3 gotas de fenolftaleína. A mistura homogeneizada foi titulada com hidróxido de sódio (NaOH) a 0,01 N até a obtenção do primeiro tom da coloração rósea.

O cálculo da acidez foi obtido pela equação abaixo:

$$\frac{V \times f \times M \times 100}{P \times c} = \text{acidez em mL de solução N por cento v/m} \quad (4.2)$$

Em que,

V = quantidade em mL da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação da amostra;

f = fator da solução de hidróxido de sódio 0,01N ou 0,1N;

M = Molaridade da solução de NaOH;

P = massa em g da mostra usada na titulação;

c = fator de correção (100 para solução de hidróxido de sódio 0,01N).

A ATT em (% ácido cítrico) de amostras de guacamole foi determinada pela equação abaixo:

$$\frac{V \times f \times M \times 192}{P \times 3 \times c} = (\% \text{ ácido cítrico}) \quad (4.3)$$

#### **4.7.5 Determinação da Umidade (%b.u.)**

Para determinação da umidade foi utilizado o método de secagem direta em estufa a 105°C, onde foi pesado de 2 a 10 g da amostra em cápsula de porcelana previamente tarada. As amostras foram aquecidas durante 3 horas e depois resfriadas em dessecador até a temperatura ambiente. Pesou-se e repetiu-se a operação de aquecimento e resfriamento até peso constante de acordo as normas recomendadas pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL 2008).

#### **4.7.6 Determinação do Teor de Sólidos Solúveis Totais**

Para determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST) utilizou-se gotas do extrato aquoso obtido da masseração e homogeneização das amostras e colocadas no prisma de um refratômetro de bancada (RR11 18847, escala de 0-35%) para realização da leitura que é dada em °Brix.

#### **4.7.7 Extrato Etéreo**

O método utilizado para a determinação do extrato etéreo foi o Intermitente Soxhlet, usando solvente orgânico (hexano), de acordo com a AOAC (1990). Os resultados foram expressos em porcentagem de extrato etéreo.

#### **4.7.8 Determinação de ácidos graxos no óleo da polpa**

As polpas submetidas pelo processo de secagem em secador de bandejas com temperatura de ar a 50°C e liofilizadas foram prensadas em prensa mecânica Nowak®, modelo PH11, para extração do óleo. Os ácidos graxos dos óleos foram saponificados por 4 minutos sobre refluxo com solução de hidróxido de potássio metanólica 0,5N e, em seguida, esterificou-se com solução de cloreto de amônia e ácido sulfúrico

concentrado em metanol, por 3 minutos, segundo o método de Hartman & Lago (1973). Os ésteres transmetilados foram acondicionados em frascos de 5 mL vidrolex, lacrados e colocados em freezer (-18°C a -20°C) para posterior análise.

Os lipídios foram hidrolisados com 4 mL de KOH 0,5N em metanol e aquecidos a partir da fervura, durante 4 min para obter os ácidos graxos livres. Em seguida, foi adicionada 7,5 mL de solução de esterificação (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e NH<sub>4</sub>Cl em metanol), aquecendo-se a mistura por mais 3 minutos, à partir da fervura. Após o resfriamento, a amostra foi colocada em funil de separação e adicionada 12,5 mL de éter etílico e 25 mL de água destilada. A camada inferior foi transferida para outro funil de separação, e adicionou-se 12,5 mL de éter etílico e 25 mL de água destilada, desprezando a parte inferior e transferindo o restante para o primeiro funil. Acrescentou-se mais 12,5 mL de éter etílico e 25 mL de água destilada, retirando novamente a parte inferior. Adicionou-se 12,5 mL de água destilada e desprezou-se a camada inferior, repetindo-se este procedimento por mais duas vezes. Em seguida, filtrou-se a amostra com papel filtro contendo sulfato de sódio anidro. O filtrado foi colhido em um tubo de ensaio, o qual ficou aberto até a evaporação de 2/3 da mistura de solvente. Depois o extrato foi transferido para um tubo de vidro deixando evaporar todo o solvente. Feito isso, acrescentou-se 3 mL de hexano. O extrato foi guardado sob congelamento até a realização da análise em CG.

Os ácidos graxos foram determinados usando cromatografia gasosa da marca VARIAN, modelo 4000 GC-MS equipado com coluna apolar (VF-5ms (25m x 0,25mm x 0,25µm)) e acoplado a um espectrômetro de massas. O volume de 1,0 µL de FAME foi injetado e a separação por GC foi realizada por uma coluna capilar HP Innowax (Heslett Packard; 30 m de comprimento, 0,25 mm i.d. e 0,25 µm espessura do filme). O gás carreado (hélio puro – 99,999%) manteve a pressão na cabeça em 11,5 psi e o fluxo na coluna a taxa de 1 mL/min. A temperatura inicial do forno foi de 120°C/min, depois aumentou 10°C/min até 210°C, a qual se manteve por 45 min. As temperaturas do porto de injeção e detector foram de 250 e 280°C, respectivamente. Os ácidos graxos foram identificados por comparação do tempo de retenção obtidos através da execução do padrão autêntico de ácidos graxos de várias marcas (Sigma/Aldrich; Nu-Chek-prep, USA). Os resultados foram dados pela porcentagem de área para cada composto identificado calculados após a normalização de cada cromatograma.

#### **4.7.9 Determinação de compostos não-voláteis**

Os compostos não-voláteis presentes nos extratos foram separados e quantificados em coluna Shimadzu XR-ODS (50 x 3,0 x 2,2 $\mu$ m). O equipamento utilizado foi um cromatógrafo líquido ultra rápido LC-20AD (Shimadzu) equipado com desgaseificador, bomba binária (LC-20 AD), injetor automático (SIL-20A) e detector de arranjo de diodos UV/VIS – DAD (SPD-M20A) com monitoramento na faixa de 190 a 800 nm.

A eluição foi realizada de forma isocrática e teve como fase móvel o solvente A, água:acetonitrila:metanol:acetato de etila:ácido acético glacial (89:6:1:3:1) com um fluxo de 0,4 ml/minuto por 5 minutos. O volume da amostra injetado foi de 2  $\mu$ L. Todas as análises foram realizadas em triplicata e monitoradas num comprimento de onda de 280 nm e 40 $\pm$ 2°C. Padrões de ácidos fenólicos (ácido gálico, ácido vanílico, ácido protocatecúico, ácido clorogênico, ácido cumárico e ácido ferúlico) foram utilizados para identificar sua presença por comparação entre espectros e tempo de retenção dos dados obtidos das amostras.

#### **4.7.10 Determinação de compostos fenólicos totais**

O conteúdo total de compostos fenólicos do extrato etanólico das amostras foi determinado pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (SINGLETON *et al.*, 1999). O reagente de Folin-Ciocalteu oxida os fenolatos, reduzindo os ácidos a um complexo azul Mo-W. A leitura foi feita em espectrofotômetro a 740 nm. Para a realização da análise, uma alíquota de 0,5 mL do extrato etanólico foi transferida para um tubo e adicionado 2,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu, diluído em água destilada 1:10. A mistura permaneceu em repouso por 5 minutos. Em seguida, foi adicionado 2 mL de carbonato de sódio 4% e os tubos deixados em repouso por 2 horas, ao abrigo da luz. A absorbância foi medida em espectrofotômetro a 740 nm. Uma amostra em branco foi conduzida nas mesmas condições e os resultados dos compostos fenólicos totais foram expressos em equivalente de ácido gálico, com base em uma curva de calibração de ácido gálico com concentrações variando de 5 a 100  $\mu$ g/mL.

#### **4.7.11 Determinação da atividade antioxidante**

##### **4.7.11.1 Ensaio de ABTS (2'2-azino-bis(3-etilbenzotriazolina-6-ácido sulfônico))**

A atividade antioxidante foi determinada pelo método ABTS conforme metodologia descrita por Rufino *et al.* (2007). O radical ABTS<sup>•+</sup> foi formado pela reação de 7 mM de ABTS com 140 mM de persulfato de potássio, armazenado ao abrigo da luz à temperatura ambiente, por 16 horas. Uma vez formado, o radical foi diluído com etanol até a obtenção da absorbância de  $0,700 \pm 0,05$  a 734 nm. A partir de cada extrato hidrofílico e lipofílico de cada amostra, foram preparadas 3 diluições diferentes. Em ambiente escuro, uma alíquota de 30 µL de cada diluição do extrato foi transferida para tubos de ensaio onde uma mistura com 3,0 mL do radical ABTS<sup>•+</sup> foi homogeneizada em vórtex por 1 minuto. As absorbâncias foram então lidas a 734 nm, após 6 minutos da reação, utilizando o etanol como branco. O Trolox (6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametilcromano-2-carboxílico), foi utilizado como antioxidante padrão para elaboração da curva de calibração, nas concentrações de 100 a 2000 µM, e os resultados foram expressos em equivalente de µM Trolox/g de amostra.

##### **4.7.11.2 Ensaio de FRAP (Poder Antioxidante de Redução do Ferro)**

A capacidade antioxidante das amostras estimada pelo ensaio de FRAP foi realizada baseando-se na metodologia de Benzie & Strain (1996) com algumas modificações. O reagente FRAP foi preparado na hora da análise com TPTZ, FeCl<sub>3</sub> e um tampão acetato e utilizado como branco para calibrar espectrofotômetro a uma absorbância de 595 nm. Uma mistura foi formada com uma alíquota de 90 µL do extrato, 2,7 mL do reagente FRAP e 270 µL de água destilada e permanecida em banho-maria a 37°C por 30 minutos antes da leitura. Uma solução aquosa de Fe (II) foi utilizada para elaborar a curva de calibração com concentrações variando de 100 a 1500 µM.

#### 4.7.11.3 Ensaio de DPPH (1,1-difenil-2-picrilidrazil)

A determinação da atividade antioxidante utilizando a redução do radical livre DPPH<sup>•</sup> foi baseada na metodologia adaptada de Brand-Williams *et al.* (1995). Uma solução de metanol contendo 0,06 mM de DPPH<sup>•</sup> foi preparada. O espectrofotômetro foi calibrado em uma absorbância de 515 nm utilizando o metanol como branco, e uma alíquota de 100 µL do extrato hidrofílico ou lipofílico foi adicionado a 3,9 mL da solução de DPPH<sup>•</sup>. Após a mistura, a absorbância foi lida em um intervalo de 1 minuto até obter a estabilização. A atividade antioxidante foi expressa em potencial anti-radical (gDPPH/gfruto).

#### 4.7.12 Microscopia

A microscopia das amostras foi feita utilizando um microscópio digital portátil Dino-Lite Plus (Modelo AM313T) com aproximação de até 200 vezes. As imagens permitem qualificar possíveis alterações causadas nas amostras pelo processamento.

#### 4.7.13 Colorimetria

A cor do abacate foi avaliada segundo a metodologia proposta por Gennadios *et al.* (1996) e Castañón *et al.* (1999), por meio de leitura direta em um colorímetro portátil Minolta modelo CR 400. As coordenadas CIELab foram obtidas diretamente do aparelho, onde a\* varia do verde (-) ao vermelho (+), b\* do azul (-) ao amarelo (+), L\* do preto (0) ao branco (100), C o croma e H a matiz.

O índice de escurecimento foi calculado de acordo com a metodologia de Palou *et al.*, (1999) utilizando a seguinte equação:

$$IE = \frac{100 * (X - 0,31)}{0,172} \quad (4.3)$$

Em que X é calculado por:

$$X = \frac{a + (1,75 * L)}{(5,645 * L) + a - (3,021 * b)} \quad (4.4)$$

As medidas foram feitas em decuplicata visando reduzir o valor do desvio padrão entre as médias.

#### **4.7.14 Textura**

Os ensaios de textura da polpa foram realizados em decuplicata em um texturômetro da marca *Brookfield* modelo CT3 utilizando teste de compressão com corpo de prova modelo TA24 (4 mm de diâmetro) em amostras à temperatura ambiente ( $25\pm 2^\circ\text{C}$ ). A penetração foi feita a cerca de 50% da altura inicial da amostra com velocidade de compressão de 2 mm/s. O *software* TexturePro CT<sup>®</sup> e um computador foram utilizados para reportar os parâmetros de dureza (N), trabalho (mJ), adesividade (mJ), estiramento (mm) e o gráfico de dureza (N) em função do tempo (s).

Para o guacamole utilizou-se um corpo de prova cilíndrico de acrílico modelo TA11/100 com 2 ciclos de penetração em 50% da altura inicial da amostra. O teste utilizado para avaliar os parâmetros de dureza (N), gomosidade (N) e coesividade (-) foi o de Análise do Perfil de Textura (TPA).

#### **4.7.15 Propriedades de reidratação**

As polpas liofilizadas foram reidratadas por imersão das mesmas em água na temperatura ambiente numa proporção de 1 g de amostra para 50 mL de água, seguindo a metodologia proposta por Marques (2008). As amostras (em triplicata) foram retiradas do banho de imersão em diferentes tempos e pesadas. Antes da pesagem as amostras foram envolvidas com papel absorvente para retirar a água superficial (água em excesso). A cinética de reidratação foi obtida, segundo a metodologia de Martins e Pinto (2003), estimando-se a razão de reidratação (RR) a partir do adimensional de umidade na reidratação pela equação abaixo:

$$RR = \frac{X_t - X_o}{X_r - X_o} \quad (4.5)$$

Sendo que,  $X_t$  é a umidade em função do tempo,  $X_o$  é a umidade final do produto desidratado (inicial da amostra a ser reidratada) e  $X_r$  é a umidade final da amostra

reidratado. A massa de sólido seco das amostras após a reidratação foi determinada através do método da estufa a (105°C até peso constante) (IAL, 2008).

## **4.8 Análise Sensorial**

### **4.8.1 Teste sensorial de diferença do controle**

Um teste sensorial discriminativo de Diferença do Controle foi realizado entre as amostras de polpa freezer (PF), polpa ultrafreezer (PU), guacamole freezer (GF), guacamole ultrafreezer (GU) e uma amostra de guacamole *in natura* (Controle), seguindo-se metodologia proposta por Ferreira *et al.* (2000). As amostras foram preparadas imediatamente antes da análise sensorial, para evitar e/ou minimizar, principalmente o escurecimento das mesmas.

Para reidratação das amostras GF e GU utilizaram-se, aproximadamente, 60% de água, sendo uma quantidade de água inferior à perda na liofilização, que foi de 78%. Essas amostras foram reidratadas adicionando-se água gradativamente até que se alcançassem as características visuais próximas a guacamole *in natura*. As amostras PF e PU foram reidratadas até umidade de saturação, seguindo a metodologia do item 4.7.15 das propriedades de reidratação, depois disso, os demais ingredientes foram adicionados nas proporções equivalentes a massa final das polpas reidratadas. O guacamole *in natura* foi preparado conforme procedimento descrito no item 4.6.

Inicialmente, 15 julgadores fizeram um teste de diferença do controle em três repetições, no qual 12 julgadores foram selecionados aqueles indivíduos que apresentaram bom poder discriminativo  $p_{amostra} \leq 0,30$ , boa reprodutibilidade dos julgamentos  $p_{repetição} \geq 0,05$ , e consenso com os demais julgadores (ABREU *et al.*, 2005). Um teste final de Diferença do Controle foi então aplicado, em duas repetições com os 12 julgadores selecionados. A ordem de apresentação das amostras foi balanceada entre os julgadores em copos codificados com números aleatórios de três dígitos e a amostra controle foi também servida entre as amostras codificadas. Foi utilizada uma escala estruturada mista em que 0 (nenhuma diferença do Padrão) e 6 (extremamente diferente do Padrão), conforme consta na ficha de aplicação do teste (Figura 4.3).

NOME: \_\_\_\_\_ DATA: 04/10/11

O guacamole é um tipo de salada mexicana elaborado com a polpa do abacate maduro, cebola fresca, tomate, pimenta, suco de limão e sal. Você está recebendo uma amostra padrão (P) de guacamole e mais 5 amostras codificadas. Primeiramente prove a amostra padrão (P) e em seguida, da esquerda para a direita, prove cada amostra codificada de guacamole. Utilizando a escala abaixo, indique o grau de diferença quanto à APARÊNCIA, TEXTURA e SABOR, entre cada amostra codificada e a amostra P.

	AMOSTRA	APARÊNCIA	TEXTURA	SABOR
0 nenhuma diferença	_____	_____	_____	_____
1				
2 ligeiramente diferente	_____	_____	_____	_____
3				
4 moderadamente diferente	_____	_____	_____	_____
5				
6 muito diferente	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____

**Figura 4.3.** Ficha de aplicação do Teste Diferença do Controle para guacamole.

#### 4.8.2 Teste de Aceitação pelos consumidores

O teste de Diferença do Controle mostra se há diferença, e o grau desta diferença, entre as amostras estudadas e a amostra Padrão. No entanto, as amostras podem ser diferentes, mas, ainda assim, serem aceitáveis para o consumidor, portanto, utilizou-se um teste sensorial de aceitação para avaliar a aceitação e/ou rejeição dos consumidores às amostras de polpa freezer (PF) e polpa ultrafreezer (PU), guacamole freezer (GF) e guacamole ultrafreezer (GU).

A aceitação de cada tratamento foi avaliada por sessenta consumidores. Os julgadores avaliaram todas as amostras, indicando em uma escala hedônica estruturada de 9 pontos, o quanto gostaram ou desgostaram da aparência, textura, sabor e da amostra de um modo geral, como pode ser visto na ficha de aplicação do teste (Figura 4.4).

Os indivíduos foram ainda questionados quanto à intenção de compra dos produtos, indicando de acordo com uma escala estruturada de nove pontos, o grau de certeza em que comprariam ou não o produto. A ordem de apresentação das amostras foi balanceada entre os julgadores em copos codificados com números aleatórios de três dígitos e as amostras foram servidas de forma monádica, para evitar o efeito

comparativo entre as amostras. Torradas foram preferencialmente escolhidas para auxiliar no consumo do guacamole, ao invés de salgadinhos de milho do tipo “*Dipas*” usualmente utilizados para acompanhá-lo, pois estes apresentam sabor marcante, podendo “mascarar” o sabor das amostras de guacamole estudadas.

NOME: \_\_\_\_\_ DATA: 05/10/11

O guacamole é um tipo de salada mexicana elaborado com a polpa do abacate maduro, cebola fresca, tomate, pimenta, suco de limão e sal. Você receberá 4 amostras de guacamole liofilizado e reidratado, uma de cada vez. Avalie cada amostra respondendo todas as questões abaixo.

1. Inicialmente, avalie a **APARENCIA** do guacamole e indique na escala abaixo o quanto você gostou ou desgostou da aparência de cada amostra.

9-Gostei muitíssimo (adorei)	<b>Amostra</b>	<b>Valor</b>
8-Gostei muito	_____	_____
7-Gostei moderadamente	_____	_____
6-Gostei ligeiramente	_____	_____
5-Nem gostei/nem desgostei	_____	_____
4-Desgostei ligeiramente	_____	_____
3-Desgostei moderadamente	_____	_____
2-Desgostei muito	_____	_____
1-Desgostei muitíssimo (detestei)	_____	_____

2. Agora passe o guacamole na torrada e prove. Em seguida, utilizando a escala acima indique o quanto você gostou ou desgostou da **TEXTURA, SABOR** e do guacamole **DE UM MODO GERAL**.

<b>Amostra</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>SABOR</b>	<b>GERAL</b>
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

3. Se você encontrasse este guacamole à venda, indique na escala abaixo o grau de certeza com que você compraria ou não este produto.

9-Certamente compraria	<b>Amostra</b>	<b>Valor</b>
8	_____	_____
7-Possivelmente compraria	_____	_____
6	_____	_____
5-Talvez comprasse/Talvez não comprasse	_____	_____
4	_____	_____
3-Possivelmente não compraria	_____	_____
2	_____	_____
1-Certamente não compraria	_____	_____

4. Outros comentários que você deseja fazer:

\_\_\_\_\_

**Figura 4.4.** Ficha de aplicação do teste de Aceitação pelo consumidor para guacamole.

#### 4.9 Análise Estatística

Todos os experimentos foram realizados em triplicata e os resultados foram apresentados como a média e seu desvio padrão (DP). Análises de Variância (ANOVA) foram aplicadas juntamente com o teste de Tukey para identificar se há diferença significativa entre as médias, usando um software estatístico (Statistica versão 8.0). Diferenças entre as médias no nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ) foram consideradas significantes.

Para a seleção da equação mais apropriada na cinética de secagem e de reidratação, o software Statistica versão 8.0 para Windows foi utilizado para ajustar as equações dos dados experimentais. Os parâmetros das equações foram estimados utilizando a análise de regressão não-linear através do método dos mínimos quadrados em uma série de passos iterativos. Dois critérios estatísticos foram utilizados para avaliar o melhor ajuste das equações das cinéticas: o coeficiente de correlação  $R^2$ , e o desvio padrão de estimação.

Utilizou-se ANOVA e teste de média Dunnett para a análise estatística do teste sensorial de Diferença do Controle das amostras de guacamole pelo *software* SAS<sup>®</sup> 9.0.

Os resultados do teste de Aceitação foram avaliados por ANOVA (F.V.= amostras, consumidores) e teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ) utilizando-se o *software* SAS 9.0 e os gráficos de frequência foram montados utilizando-se o *software* Office Excel 2007.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização da Matéria-Prima

#### 5.1.1 Composição centesimal

A Tabela 5.1 apresenta os dados da composição centesimal da polpa, casca e semente do fruto do abacate variedade Collinson. Observa-se que a polpa detém a maior parcela de umidade e lipídeos da fruta, com valores aproximados de 83,15 gágua/100gpolpa e 13,21%, respectivamente. Por outro lado, a semente apresenta valores superiores de cinzas, proteína e carboidratos totais quando comparada com a casca e polpa da fruta. As médias encontradas para o fruto estão de acordo com os valores reportados por Maranca (1992), em que determinou um alto potencial energético para o abacate, principalmente pelo seu conteúdo em matéria graxa.

**Tabela 5.1.** Composição centesimal dos diversos componentes do abacate variedade Collinson.

Análises	Casca	Polpa	Semente
Umidade (gágua/100gamostra)	74,47±0,01	83,15±0,01	55,82±0,02
Lipídeos (%)	3,03±0,68	13,21±0,70	4,31±0,19
Cinzas (%)	0,59±0,01	0,54±0,03	1,09±0,20
Proteína (%)	2,00±0,02	1,53±0,02	2,1±0,01
Carboidratos totais por diferença (%)	19,91±0,33	1,57±0,34	36,78±0,1

#### 5.1.2 Caracterização físico-química e física do abacate

De acordo com os parâmetros estabelecidos por Bleiroth & Castro (1992) o abacate variedade Collinson estudado no presente trabalho se enquadra na Classe I por apresentar a casca verde no estágio de maturação “maduro” e no Tipo 1 por ser bem desenvolvido e livre de qualquer dano físico.

Na Tabela 5.2 encontram-se os resultados de rendimento e caracterização físico-química da casca, polpa e semente do abacate.

O rendimento da polpa do abacate varia de acordo com a variedade do fruto e é a fração de maior interesse para as indústrias por ser a parcela comestível e possuir o

maior conteúdo de lipídeos. Neste caso, a variedade Collinson apresentou um rendimento de polpa ( $80,8\pm 5,95\%$ ) superior à casca ( $8,0\pm 0,80\%$ ) e a semente ( $11,2\pm 1,41\%$ ) podendo ser apresentada como um fruto de bom aproveitamento. Este rendimento de polpa também superou os valores encontrados por Tango *et al.* (2004) com 73% para a mesma variedade. Comparando com outras variedades, se igualou à *Quintal* que apresentou 81% de rendimento de polpa mostrando que a variedade Collinson é uma das que possuem melhor aproveitamento. Oliveira *et al.* (2003) também observaram o melhor aproveitamento de polpa para a variedade Collinson, sugerindo que a fruta possui o maior potencial para industrialização no estágio de maturação “madura”.

**Tabela 5.2.** Médias de rendimento e caracterização físico-química do abacate.

<b>Análises</b>	<b>Casca</b>	<b>Polpa</b>	<b>Semente</b>
Rendimento (%)	8,0±0,80	80,8±5,95	11,2±1,41
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	---	6,25±0,25	---
Acidez Total Titulável (%)	---	4,57±0,17	---
pH	---	6,36±0,05	---
<i>Ratio</i> (°Brix/Acidez)	---	1,35±0,03	---
Cor			
L*	37,10±1,20	79,34±3,25	---
a*	-5,24±1,38	-1,27±2,19	---
b*	20,41±2,00	45,35±2,86	---
Compostos fenólicos totais (µg ácido gálico/mL extrato)	23,24±0,13	17,68±0,13	37,12±0,33

A polpa do abacate variedade Collinson apresentou valores médios aproximados de 6,25 °Brix para sólidos solúveis, ficando abaixo do valor (6,90 °Brix) encontrado por Hatton *et al.* (1964) e 7,00 °Brix por Soler (1978), e valores equivalentes aos reportados por Sanches *et al.* (2008). Os sólidos solúveis totais fornecem informações importantes sobre o estágio de maturação do fruto, pois o amadurecimento em abacates está diretamente relacionado ao consumo de carboidratos, principalmente os solúveis (BERTLING *et al.*, 2003).

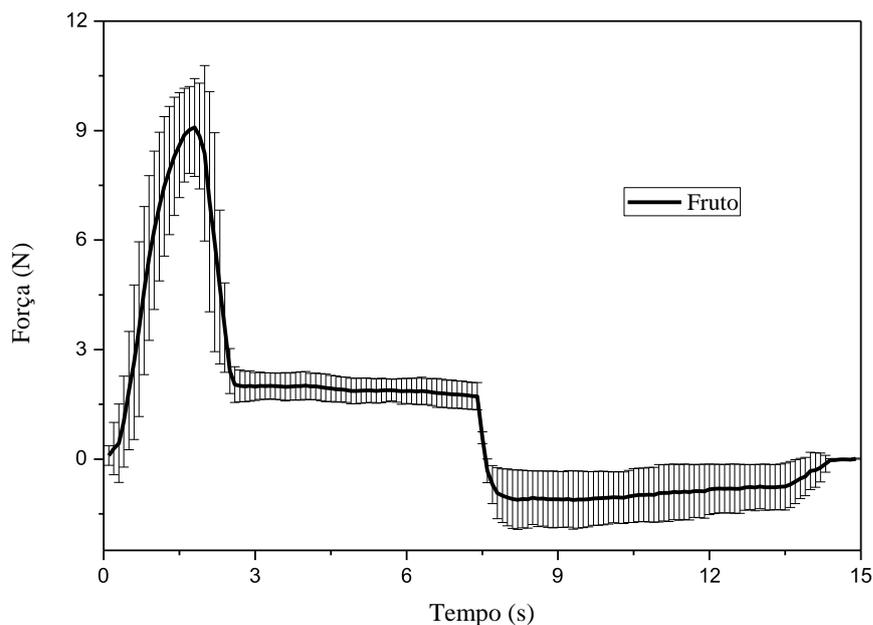
A determinação de acidez fornece um dado valioso na apreciação do estado de conservação de um produto alimentício. Um processo de decomposição seja por hidrólise, oxidação ou fermentação, altera quase sempre a concentração dos íons de hidrogênio (IAL, 2008). A acidez total titulável da polpa do abacate alcançou uma média de 4,57% ficando acima do reportado por Soler (1978) para a mesma variedade. Por outro lado, o valor médio de pH que relaciona a acidez e determina o potencial de íons  $H^+$  na polpa do abacate variedade Collinson foi de aproximadamente 6,36, caracterizando um produto de baixa acidez ( $>4,5$ ) (KROLOW, 2006).

O estágio de maturação dos frutos de abacate pode ser determinado pela razão entre o teor de sólidos solúveis e a porcentagem de acidez total titulável, também denominado como *ratio*. Desta forma, a relação além de avaliar a maturidade, pode ser utilizada como indicador de qualidade do fruto. De acordo com a Tabela 5.2, a polpa de abacate variedade Collinson apresentou valor médio de *ratio* de, aproximadamente, 1,35, sendo este valor encontrado inferior ao reportado (3,70) por Daiuto *et al.* (2010) para o abacate variedade *Hass*.

O teor de compostos fenólicos totais observados para toda a fruta do abacate variedade Collinson mostrou que a semente detém a maior parcela com, aproximadamente, 37,12  $\mu g$  ácido gálico/mL extrato, seguido da casca com 23,24  $\mu g$  ácido gálico/mL extrato e a polpa com 17,68  $\mu g$  ácido gálico/mL extrato. O uso de sementes de abacate na medicina doméstica pode estar associado a este alto índice de fenóis, pois os compostos fenólicos totais estão associados ao potencial antioxidante da matriz, não somente pela sua habilidade em doar hidrogênio ou elétrons, mas também pela estabilização de seus radicais intermediários que impedem a oxidação de outros compostos prevenindo os riscos de doenças (CUVELIER *et al.*, 1992). Entretanto, apesar de a semente possuir a maior fonte destes compostos no abacate, o uso da polpa ainda é a melhor opção na dieta pelos consumidores.

Geralmente, no momento da seleção, a dureza ou firmeza é um dos principais critérios sensoriais utilizado pelo consumidor ao avaliar o estágio de maturação mais favorável de um fruto. Os abacates estudados no presente trabalho apresentaram em média, dureza em torno de 9,8 N como pode ser observado no pico máximo da curva ilustrada na Figura 5.1. Tal pico também pode ser caracterizado como o ponto de fratura ou a resistência máxima da casca ao ser pressionada pelo corpo de prova. Após o

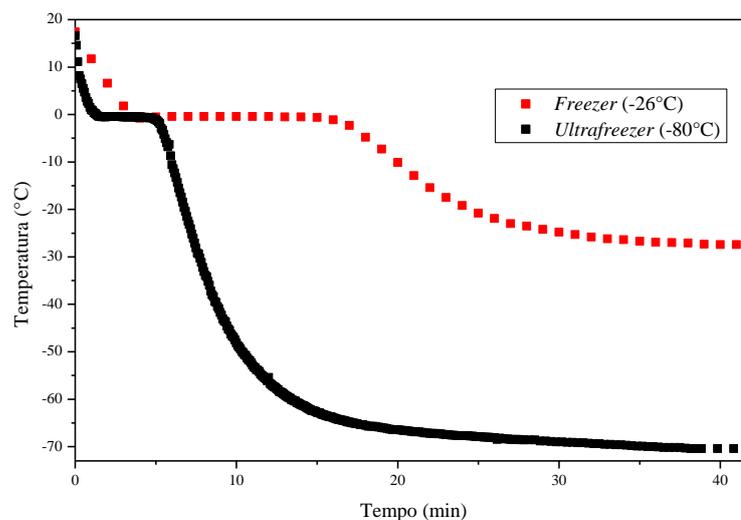
rompimento da casca, a força utilizada para penetração do fruto é imediatamente reduzida sendo então correspondente à resistência da polpa, em torno de 2,03 N. Posteriormente a ponteira é recolhida e o fruto exerce uma força contrária ao movimento gerando uma força adesiva de aproximadamente, 1,10 N no quadrante negativo do gráfico.



**Figura 5.1.** Comportamento mecânico da força (N) em função do tempo (s) de perfuração do corpo de prova no abacate.

## 5.2 Cinética de congelamento

A Figura 5.2 ilustra as curvas de congelamento de cubos da polpa de abacate em diferentes temperaturas. Observa-se que para ambos os ambientes de congelamento as curvas apresentam as três fases: resfriamento, congelamento e pós-congelamento. A temperatura obtida para a formação de gelo na polpa do abacate em cubo foi de, aproximadamente,  $-0,4^{\circ}\text{C}$  para os dois tratamentos, ficando um pouco abaixo da temperatura de congelamento da água. Segundo Jie *et al.* (2003), o teor de sólidos solúveis de uma matriz influencia em seu ponto de congelamento indicando uma relação inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o teor de sólidos solúveis menor será a temperatura do seu ponto de congelamento.

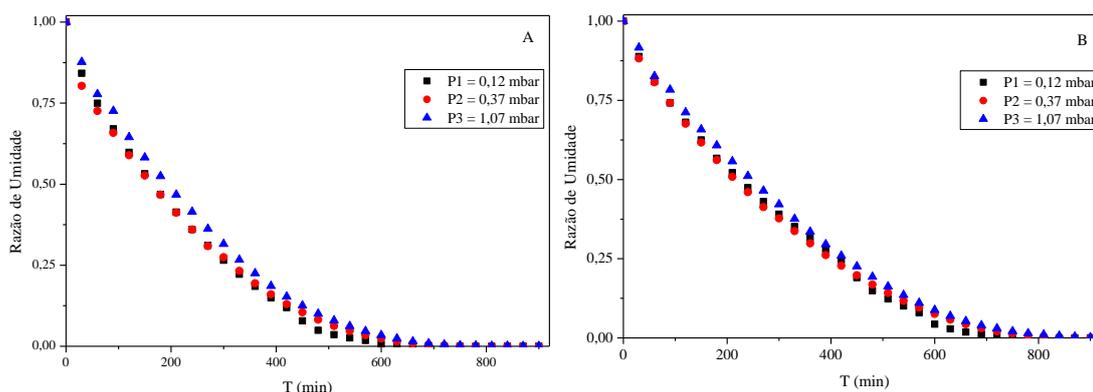


**Figura 5.2.** Cinética de congelamento de cubos da polpa de abacate em diferentes temperaturas.

O comportamento da curva para o cubo congelado em ultrafreezer passa pelas fases de resfriamento e congelamento em um espaço de tempo muito inferior ao cubo congelado em freezer convencional. Isso ocorre devido a sua velocidade de congelamento ( $V_c$ ) que alcança um valor médio de  $0,1^\circ\text{C/s}$ , uma vez que o cubo congelado em freezer convencional possui  $V_c$  de  $0,02^\circ\text{C/s}$  acarretando em uma menor transferência de calor da amostra para o ambiente. De acordo com Pitombo (1989), a  $V_c$  do cubo congelado em freezer convencional pode ser classificada como lenta já que seu valor se enquadra na escala de  $0,01^\circ\text{C/s}$  a  $0,06^\circ\text{C/s}$ . Desta forma, a formação de grandes cristais de gelo é favorecida, ao contrário do cubo congelado em ultrafreezer que desenvolve pequenos cristais, sendo caracterizado como congelamento rápido ( $0,06^\circ\text{C/s}$  a  $50^\circ\text{C/s}$ ). Resende & Cal-Vidal (2002) avaliaram a influência do tipo de congelamento sobre a microestrutura celular do melão e constataram que os produtos congelados em velocidade baixa obtiveram formação de grandes cristais, causando lesões nas células da matriz, e por outro lado, as amostras submetidas ao congelamento rápido (maior velocidade de congelamento) obtiveram menores cristais de gelo, e conseqüentemente reduzidas lesões. O'Brien (2004) constatou que diferentes taxas de congelamento exerceram influência significativa sobre o tamanho dos poros formados nas amostras de colágeno após a liofilização, sendo que maiores taxas geraram menores poros e menores taxas formaram maiores poros.

### 5.3 Cinética de secagem

Na Figura 5.3 estão apresentadas as cinéticas de liofilização de cubos da polpa de abacate submetidos ao congelamento em freezer e ultrafreezer em diferentes pressões de vácuo. Observa-se que para ambos os congelamentos não houve influência das pressões estudadas sobre o comportamento cinético de liofilização da polpa de abacate em forma de cubo apresentando similaridades entre si.



**Figura 5.3.** Razão de umidade em base seca em função do tempo para cubos da polpa de abacate submetidos a liofilização em diferentes pressões.

*Descrição:* A) Congelamento em freezer ( $-26^{\circ}\text{C}$ ); B) Congelamento em ultrafreezer ( $-80^{\circ}\text{C}$ ).

Com relação à perda de umidade para os tratamentos estudados, não houve diferença significativa entre os valores finais alcançados, em torno de 0,013 g água/gss, indicando que a umidade de equilíbrio não depende das pressões estudadas neste trabalho para a polpa de abacate submetida ao congelamento lento. Em contrapartida, os valores de umidade de equilíbrio das amostras submetidas ao congelamento rápido ao fim do processo de liofilização foram superiores às umidades finais dos tratamentos em freezer, chegando a níveis aproximados de 0,056, 0,029 e 0,068 g água/gss para 0,12, 0,37 e 1,07 mbar, respectivamente.

Para os diferentes métodos de congelamento e a mesma pressão no processo de liofilização, pode ser observado que houve distinção no tempo de secagem até alcançar a umidade de equilíbrio das amostras. Na pressão 0,12 mbar (P1) utilizando o congelamento em freezer, necessitou-se, aproximadamente, 600 minutos, já para o congelamento em ultrafreezer o tempo necessário foi de, aproximadamente, 780 minutos. Para a pressão 0,37 mbar (P2), o tempo foi de, aproximadamente, 690 e 870

minutos para freezer e ultrafreezer, respectivamente. Na pressão 1,03 mbar (P3) o tempo necessário foi de, aproximadamente, 930 minutos para ambos os congelamentos. Em trabalhos realizados por Santos (2011) também não foi constatada a diferença no tempo de secagem de polpa de graviola submetida tanto em congelamento lento quanto em congelamento rápido.

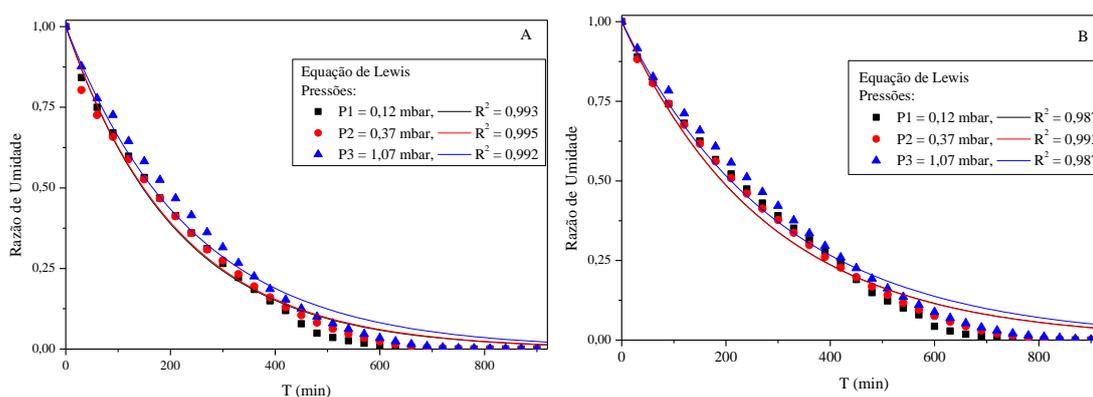
A razão pela qual o congelamento em freezer demanda um tempo menor de liofilização para alcançar menores valores de umidade de equilíbrio quando comparados aos produtos congelados em ultrafreezer está diretamente ligada ao tamanho dos cristais de gelo formados durante o processo. Como o congelamento em freezer foi classificado como lento com  $V_c$  igual a  $0,02 \text{ }^\circ\text{C/s}$  há a formação de grandes cristais de gelo que modelam maiores espaços no interior da amostra. Com isso, durante a sublimação do gelo e impulsionado pela pressão de vácuo, a resistência para o vapor de água sair do produto é reduzida, facilitando o processo de secagem. Em contrapartida, no congelamento com ultrafreezer, os pequenos cristais de gelo formados na amostra criam pequenos espaços internos dificultando a saída do vapor de água demandando um maior tempo de secagem. Marques (2008) também verificou a influência do congelamento rápido sobre o tempo de secagem de frutas tropicais e citou que os danos causados pelo rompimento das células pelos grandes cristais de gelo ao produto consequentemente libera nutrientes para reações químicas e enzimáticas. Rinfret (1962) verificou modificações nas características de difusão das membranas celulares de alimentos como consequência do tipo de congelamento e de secagem empregada que reduziram a viabilidade com a passagem de metabólitos essenciais intermediários e componentes celulares para o meio extracelular.

### **5.3.1 Equacionamento matemático da cinética de secagem**

Nas Figuras 5.4, 5.5 e 5.6 estão apresentados os ajustes das equações de Lewis, Page e Brooker, respectivamente, para as cinéticas de liofilização de cubos da polpa de abacate submetidos ao congelamento em freezer e ultrafreezer e diferentes pressões de vácuo.

Os modelos empíricos e semi-empíricos baseados na teoria do resfriamento de Newton são geralmente utilizados para descrever o comportamento típico da cinética de secagem em que as curvas possuem os períodos de taxa constante e decrescente.

Quando a secagem de algum material biológico não obedece tal comportamento, os ajustes tendem a subestimar ou superestimar os dados experimentais (MARQUES, 2008). Desta forma, o que pode ter acontecido com as amostras congeladas em ultrafreezer (congelamento rápido) é que os pequenos capilares originados dos pequenos cristais formados promoveram resistência à transferência de massa de água em forma de vapor do interior para fora do produto. Este comportamento indica que a taxa de sublimação na superfície da amostra seja superior à taxa de sublimação no interior que leva a transferência do vapor para fora do produto, causando este diferencial e conseqüentemente mudança no comportamento da fase de velocidade constante. Segundo Park *et al.* (2007) este comportamento também é observado na maioria dos produtos biológicos em secagem convectiva.

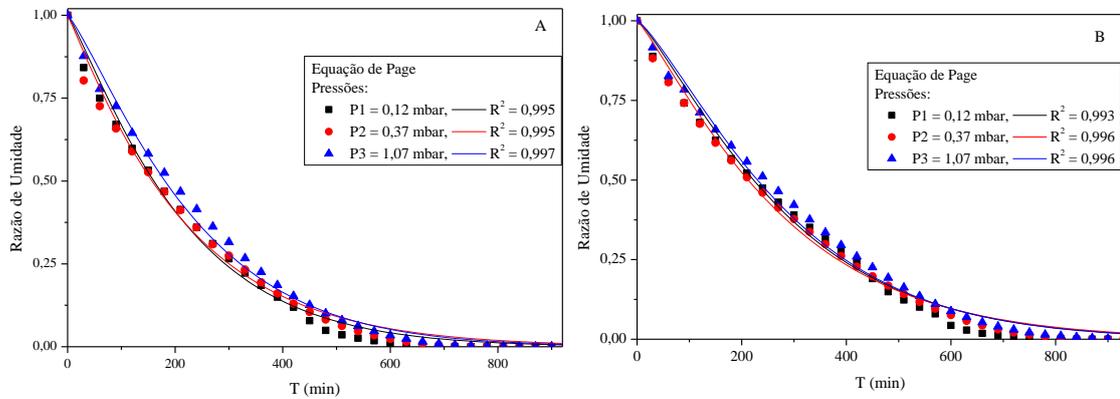


**Figura 5.4.** Razão de umidade em base seca e função do tempo para cubos da polpa de abacate submetidos a liofilização nas diferentes pressões ajustados à equação de Lewis.

*Descrição:* A) Congelamento em freezer (-26°C); B) Congelamento em ultrafreezer (-80°C).

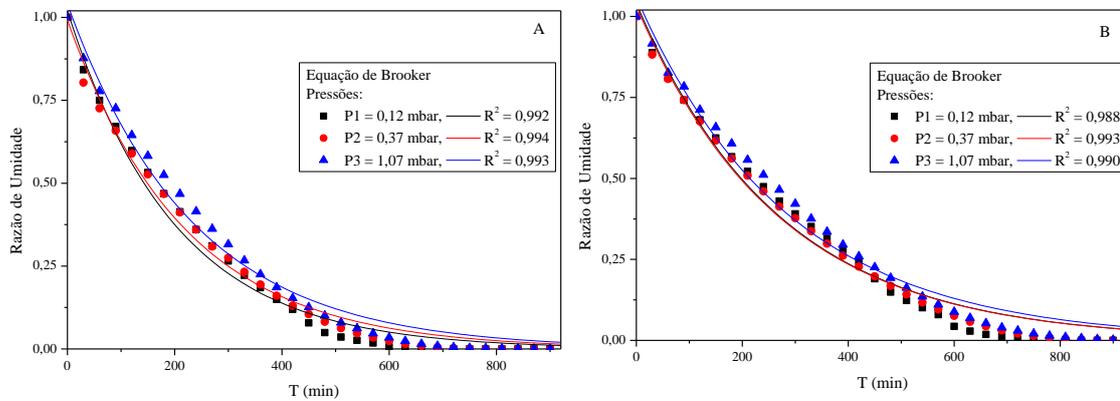
Após a remoção da umidade livre de materiais higroscópicos porosos, a frente de sublimação tende a remover a água do interior do produto, na qual é transferida pelo mecanismo de difusão do vapor através do sólido já seco, influenciando também para a redução da velocidade de secagem (ZHANG *et al.*, 1999). Outro fator que pode afetar a velocidade de secagem é que durante o avanço da frente de sublimação, a espessura da camada liofilizada aumenta, sendo assim a transferência de vapor pela camada seca fica mais difícil reduzindo a velocidade de secagem do alimento. De maneira geral, a permeabilidade e a condutividade térmica do alimento variam inversamente, uma vez que os alimentos compactos têm uma condutividade térmica elevada, mas uma difícil

difusão do vapor devido a sua estrutura, enquanto que nos porosos ocorre o inverso (MAFART, 1994).



**Figura 5.5.** Razão de umidade em base seca em função do tempo para cubos da polpa de abacate submetidos a liofilização nas diferentes pressões ajustados à equação de Page.

*Descrição:* A) Congelamento em freezer (-26°C); B) Congelamento em ultrafreezer (-80°C).



**Figura 5.6.** Razão de umidade em base seca em função do tempo para cubos da polpa de abacate submetidos a liofilização nas diferentes pressões ajustados à equação de Brooker.

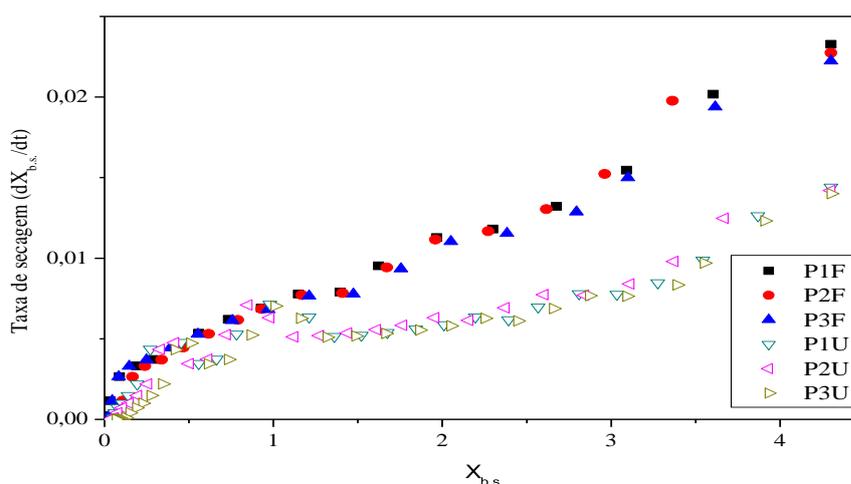
*Descrição:* A) Congelamento em freezer (-26°C); B) Congelamento em ultrafreezer (-80°C).

Todos os modelos estudados apresentaram coeficientes de correlação superiores a 98,8%, podendo ser utilizados na estimativa da liofilização da polpa de abacate variedade Collinson. Dentre os modelos, o de Page foi o que apresentou melhores

coeficientes de correlação para o comportamento cinético da polpa de abacate em forma de cubo nas diferentes condições de processo estudadas.

A variação da taxa de secagem de cubos da polpa de abacate submetidos a diferentes tipos de congelamento ( $-26^{\circ}\text{C}$  e  $-80^{\circ}\text{C}$ ) e condições de pressão (0,12 mbar, 0,37 mbar e 1,07 mbar) pode ser observada na Figura 5.7. Diferente do comportamento obtido do gráfico de cinética de liofilização na Figura 5.3, a taxa de secagem fornece informações privilegiadas sobre a transferência de massa do produto durante o processo. Pode-se notar que o processo de liofilização não proporcionou o desenvolvimento da fase de período constante de secagem comumente observada em experimentos com secagem convectiva, mostrando que o processo ocorreu apenas em fase de velocidade decrescente. Marques (2008) verificou o período de velocidade constante ao estudar o comportamento de liofilização para frutas tropicais, indicando que as adversidades encontradas para cada fruto é determinante para se distinguir um comportamento cinético.

As amostras submetidas ao congelamento lento obtiveram uma taxa de secagem notadamente superior às encontradas para os cubos congelados em ultrafreezer o que justifica o menor tempo requerido até atingir a umidade de equilíbrio observado na cinética de secagem. As diferentes pressões utilizadas neste trabalho não influenciaram na taxa de secagem da polpa do abacate.



**Figura 5.7.** Taxa de secagem para cubos da polpa de abacate submetidos a diferentes pressões de liofilização.

*Descrição:* A) Congelamento em freezer ( $-26^{\circ}\text{C}$ ); B) Congelamento em ultrafreezer ( $-80^{\circ}\text{C}$ ).

As análises das cinéticas de liofilização podem ser suplementadas usando os parâmetros estimados das equações aplicadas para descrever os dados experimentais. A Tabela 5.3 mostra os valores dos parâmetros estimados para os modelos de Lewis, Page e Brooker, coeficientes de correlação ( $R^2$ ) e desvios padrões.

**Tabela 5.3.** Parâmetros das equações de Lewis, Page e Brooker e coeficientes de correlação para liofilização de cubos da polpa de abacate.

Trat	Lewis		Page			Brooker		
	$K \times 10^{-2}$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$R^2$	$K \times 10^{-2}$ ( $\text{min}^{-n}$ )	n	$R^2$	$K \times 10^{-2}$ ( $\text{min}^{-1}$ )	a	$R^2$
P1F	0,50±0,01	0,993	0,20±0,05	1,15±0,04	0,995	0,50±0,02	1,02±0,03	0,992
P2F	0,50±0,01	0,995	0,31±0,06	1,07±0,04	0,995	0,50±0,10	0,99±0,02	0,994
P3F	0,42±0,01	0,992	0,13±0,02	1,21±0,03	0,997	0,43±0,01	1,04±0,02	0,993
P1U	0,40±0,01	0,988	0,09±0,02	1,23±0,05	0,993	0,40±0,02	1,04±0,03	0,988
P2U	0,40±0,00	0,993	0,13±0,02	1,17±0,03	0,996	0,43±0,01	1,03±0,02	0,993
P3U	0,33±0,00	0,989	0,07±0,01	1,27±0,03	0,996	0,40±0,01	1,06±0,03	0,990

*P1 = 0,12 mbar; P2 = 0,37 mbar; P3 = 1,07 mbar; F: Freezer; U: Ultrafreezer;*

De acordo com a Tabela 5.3, o parâmetro K que representa a constante de secagem variou quando avaliada a mesma pressão em diferentes tipos de congelamento para equação de Lewis. Em P1F, por exemplo, o valor de K foi de  $0,005 \text{ min}^{-1}$  e para P1U obteve-se um valor inferior igual a  $0,004 \text{ min}^{-1}$ . Da mesma forma para as pressões de 0,37 mbar (P2) e 1,07 mbar (P3) avaliando os diferentes tipos de congelamento, os valores de K foram inferiores para o método rápido (ultrafreezer). Por outro lado, para o mesmo parâmetro K do congelamento rápido, gerado pelas equações de Page e Brooker, apenas o tratamento liofilizados na pressão de 1,03 mbar (P3) não apresentaram diferenças entre os demais do congelamento lento.

Analisando os dados para a equação de Page, observa-se que os valores de K foram reduzidos quando se aumentou a pressão de liofilização nos tratamentos congelados em freezer convencional. Já para os tratamentos submetidos ao congelamento rápido, estes valores se mantiveram constantes independentemente de variações na pressão durante a liofilização. Desta forma, correlacionando o

comportamento cinético dos tratamentos com os valores obtidos pelo parâmetro K para todos os modelos, pode-se notar uma maior rapidez no tempo de liofilização para as amostras congeladas em freezer cujos valores do parâmetro são superiores. Tal fato está relacionado à menor resistência na migração do vapor de água sublimado do interior para fora da amostra facilitada pelos espaços estruturados pelos grandes cristais de gelo do congelamento lento. Pelo fato de o valor de K ser inversamente proporcional ao tempo, observa-se que quanto maior o seu valor, menor será o tempo de secagem das amostras. Isto fica claro ao observar os valores do parâmetro gerados pela equação de Lewis. Assim sendo, as amostras submetidas ao congelamento lento (freezer) tendem a desenvolver um menor tempo de secagem e quanto maior a pressão de liofilização há a tendência de se prolongar o tempo até atingir a umidade de equilíbrio. Com os dados das equações de Page e Brooker não foi possível distinguir a velocidade de secagem para os tratamentos congelados em ultrafreezer, devido a similaridade do comportamento apresentado durante o processo.

Avaliando os ajustes das equações ao comportamento da cinética de liofilização para todos os tratamentos estudados, pôde ser observado que entre os modelos estudados, o proposto por Page foi o que alcançou os melhores coeficientes de correlação ( $R^2$ ) com valores mínimos de 0,993. Os modelos de Lewis e Brooker obtiveram bons ajustes para os tratamentos submetidos ao congelamento lento (em freezer), com coeficientes iguais ou superiores a 0,992. Por outro lado, os menores coeficientes de correlação foram identificados nos comportamentos cinéticos das amostras congeladas em ultrafreezer, exceto para o tratamento P2U ajustado às equações de Lewis e Brooker e P1U ajustado à equação de Brooker. Trabalhos encontrados na literatura também reportaram os melhores ajustes para equação de Page para secagem de alimentos (AFONSO-JÚNIOR & CORRÊA, 1999; ARRUDA, 2008; MARQUES, 2008; SINGH *et al.*, 2008; HII *et al.*, 2009)

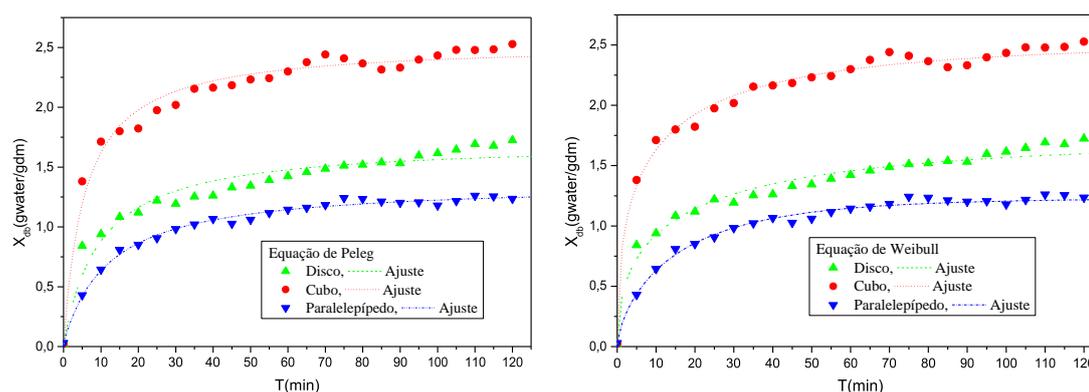
O parâmetro “n” tem efeito moderador para corrigir os possíveis erros resultantes da resistência interna à transferência de umidade (Sousa *et al.*, 2006). Observa-se que os maiores valores de “n” da equação de Page são obtidos pelos tratamentos congelados em ultrafreezer onde há a formação de pequenos cristais de gelo que consequentemente modelam pequenos espaços internos e por sua vez oferecem maior resistência à transferência de umidade proveniente da sublimação do gelo

disponível no interior das amostras. Mesmo comportamento de resistência à transferência de massa associada ao parâmetro  $n$  em função do tipo de congelamento foi observado por Marques (2008) ao liofilizar frutas tropicais.

## 5.4 Características de reidratação

### 5.4.1 Influência da geometria

A Figura 5.8 mostra a cinética de reidratação da polpa de abacate liofilizada em diferentes geometrias (disco, cubo e paralelepípedo) e o ajuste das equações estudadas. Pode ser observado que a forma geométrica como as amostras foram liofilizadas influenciou no processo de reidratação. As curvas mostraram um típico comportamento de reidratação com uma rápida absorção de água no período inicial seguida por uma desaceleração da taxa nos estágios posteriores. Também pode ser notada a influência da geometria no processo de reidratação, indicando que o teor de umidade de equilíbrio é diferenciado quando se varia a forma estrutural das amostras. Ainda assim, comparando estes resultados com a polpa de abacate desidratadas em secador convectivo fica evidente que o processo de liofilização desenvolve uma melhor capacidade de absorção de água (WAC) para o produto (LEE *et al.*, 2006).



**Figura 5.8.** Umidade em base seca em função do tempo de reidratação em água para as partes liofilizadas da polpa do abacate e os ajustes para as equações de Peleg e Weibull.

Em análise a estimação dos resultados apresentados na Tabela 5.4, a equação de Weibull pode ser considerada a mais aceitável para representar a cinética de reidratação da polpa liofilizada do abacate nas diferentes geometrias investigadas neste estudo,

adquirindo altos valores de coeficiente de correlação. A magnitude dos parâmetros obtidos neste estudo está em concordância com os reportados na literatura para liofilização de frutas tropicais (MARQUES *et al.*, 2009). Os resultados apresentados também indicam que as geometrias das amostras tiveram influência significativa em suas cinéticas de reidratação. Entre as geometrias estudadas (disco, cubo e paralelepípedo), as amostras em cubo apresentaram as melhores características de reidratação como evidenciado pelos valores de  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $\psi$  e  $\theta$ .

**Tabela 5.4.** Valores dos parâmetros para os modelos usados na reidratação com água das diversas geometrias da polpa de abacate liofilizado.

Formas	Peleg			Weibull		
	$k_1$ (min.kg <sub>ms</sub> /kg <sub>ág.</sub> )	$k_2 \times 10^{-1}$ (kg <sub>ms</sub> /kg <sub>ág.</sub> )	$R^2$	$\psi \times 10(-)$	$\theta$ (min)	$R^2$
Disco	5,64±0,66	0,59±0,01	0,971	0,49±0,03	17,27±1,21	0,986
Cubo	2,26±0,19	0,40±0,00	0,988	0,47±0,02	9,39±0,61	0,994
Paralelepípedo	9,06±0,40	0,75±0,01	0,995	0,75±0,03	16,21±0,61	0,994

A constante  $K_1$  da equação de Peleg e o parâmetro de forma  $\psi$  da equação de Weibull medem a velocidade de absorção de água no início do processo de reidratação. Quanto menores os valores de  $K_1$  e  $\psi$ , mais rápida será a taxa de absorção de água no início do processo (MARQUES, 2009). As amostras em cubo apresentaram a maior taxa de absorção de água nos períodos iniciais com os menores valores para os parâmetros, seguidos das geometrias em disco e paralelepípedo como também ficou evidenciado na Figura 5.8.

O parâmetro  $K_2$  de Peleg está diretamente relacionado com o teor de umidade de saturação das amostras. Quanto menor o valor deste parâmetro, maior será a capacidade de absorção de água, explicando a sua alta umidade de saturação. Desta forma, o menor valor de  $K_2$  foi apresentado pela geometria em forma de cubo conferindo sua maior umidade de saturação ao ser comparada com outras geometrias.

O inverso do parâmetro  $\theta$  pode ser comparado com o coeficiente de difusão efetiva de modelos de difusão, uma vez que representa a cinética constante da equação de Weibull. Assim, permite avaliar o grau de dificuldade ou facilidade do material para

se reidratar (MARQUES, 2009). Desta forma, pode-se explicar o fato em que amostras na forma de cubo apresentaram maior facilidade para se reidratar alcançando altas taxas de absorção de água. As geometrias em disco e paralelepípedo tiveram valores significativamente iguais para o parâmetro, mostrando que a resistência do material à reidratação é similar, porém, observa-se que o disco alcançou maior conteúdo de umidade de saturação devido à soma maior velocidade de absorção de água.

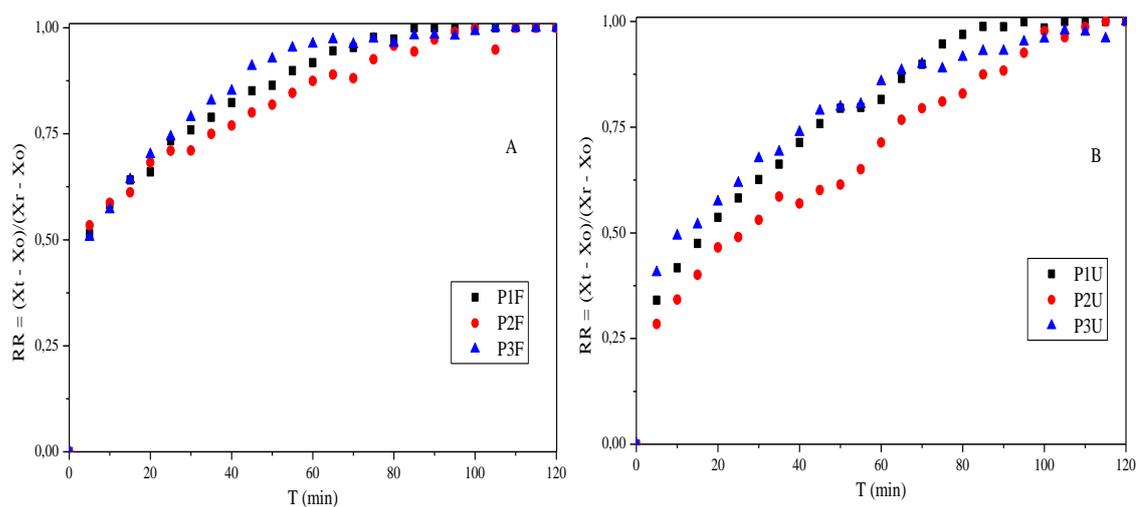
Lee *et al.* (2006) analisaram a influência do fluxo longitudinal e lateral de água sobre a taxa de reidratação de amostras da polpa de abacate liofilizado. Os autores descobriram que as amostras de abacate foram reidratadas mais rapidamente quando o fluxo de água percorreu longitudinalmente as amostras e não lateralmente, devido provavelmente ao alinhamento interno da estruturas do fruto. Possivelmente, as amostras em forma de cubo não induziram alterações significativas no alinhamento interno da estrutura da célula do abacate. Por outro lado, as amostras em disco e paralelepípedo podem ter causado danos nesta estrutura celular que atuou como resistência interna para o fluxo de água durante a reidratação.

A análise dos dados para reidratação de polpa de abacate liofilizado em diferentes geometrias mostra que as amostras em cubo obtiveram melhor capacidade de reidratação. Isto pode ser explicado com base na área específica calculada para as dimensões de cada geometria. Os valores específicos de área foram iguais a 0,6, 0,37 e 0,36 mm<sup>-1</sup> para o cubo, paralelepípedo e disco, respectivamente. Como o cubo apresentou a maior área específica, sua área de transferência de massa durante a liofilização e reidratação foi maior, facilitando os processos.

#### **5.4.2 Influência do congelamento e pressão de vácuo**

O estudo da reidratação pode ser considerado um meio fundamental para quantificar alterações ocorridas na estrutura celular do material (KROKIDA *et al.*, 1999; SACILIK & ELICIN, 2006; ATARÉS *et al.*, 2009). A Figura 5.9 mostra a influência de diferentes condições de processo sobre o comportamento da cinética de reidratação de cubos da polpa de abacate. A partir dos gráficos de curvas de reidratação obtidos pode-se notar que as polpas tiveram um comportamento típico de reidratação encontrados na literatura para frutas (MASKAN, 2000; KROKIDA & MARINOS-KOURIS, 2003; LEE *et al.*, 2004; MALDONADO *et al.*, 2010; SOUZA, *et al.*, 2011).

Ao longo do processo e, principalmente, nos períodos iniciais, pode ser observado que as amostras submetidas ao congelamento lento (freezer) obtiveram maiores taxas de reidratação em relação às amostras congeladas por congelamento rápido.



**Figura 5.9.** Razão de reidratação (base seca) em função do tempo para cubos da polpa de abacate liofilizado submetidos previamente a diferentes congelamentos e pressões.

*Descrição:* A) Congelamento em freezer ( $-26^{\circ}\text{C}$ ); B) Congelamento em ultrafreezer ( $-80^{\circ}\text{C}$ ).

Nota-se que nos primeiros 5 minutos do processo de reidratação, a absorção de água é quase que instantânea chegando a alcançar 50% da razão de umidade para as amostras submetidas ao congelamento lento e variando de 30 a 40 % para as amostras congeladas em ultrafreezer. Segundo Lee *et al.*, (2006), este movimento inicial de transferência acelerada de água pode ser devido ao enchimento dos poros da superfície e, posteriormente, ocorre um mecanismo diferente para o fluxo capilar que controla o processo de reidratação. Independente das condições aplicadas aos tratamentos, a velocidade de absorção de água foi reduzindo durante o processo até atingir a umidade de equilíbrio. Comportamentos similares foram reportados na literatura para várias frutas (KROKIDA & MARINOS-KOURIS, 2003; MALDONADO *et al.*, 2007; MARQUES, 2008; ATARÉS *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2011).

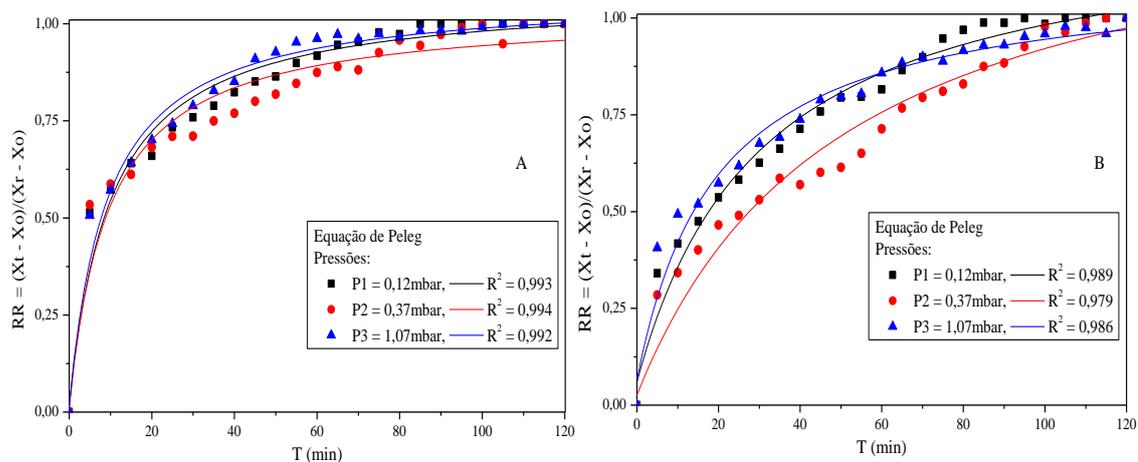
Uma das principais características dos produtos liofilizados é a grande capacidade de absorver umidade (SCHWEGMAN, 2009; SOUZA *et al.*, 2011). De

acordo com os resultados de umidade de equilíbrio obtidos dos experimentos, apenas os tratamentos P1F, P1U e P3U superestimaram valores de umidade da polpa *in natura* (4,88 g água/g ss) alcançando 5,66, 5,67 e 5,39 g água/g ss, respectivamente. Já os demais tratamentos subestimaram a umidade da polpa *in natura* ao serem reidratadas, não alcançando seu valor inicial, uma vez que P2F foi o único tratamento que se aproximou do valor com 4,62 g água/g ss. As amostras congeladas em freezer tiveram um comportamento de umidade de equilíbrio inverso ao aumento da pressão, ou seja, quanto maior foi a pressão utilizada na liofilização, menor foi o valor de umidade de saturação alcançado pelas amostras no final do processo.

Utilizando diferentes métodos de congelamento e a mesma pressão no processo de liofilização, pode ser observado que houve distinção no tempo de reidratação até alcançar a umidade de saturação das amostras. De forma geral percebe-se que os tratamentos de congelamento lento demandam um menor período de tempo em relação às amostras submetidas ao congelamento rápido. Na pressão 0,12 mbar (P1) utilizando o congelamento em freezer, necessitou-se aproximadamente 85 minutos, já para o congelamento em ultrafreezer na mesma pressão o tempo gasto foi de, aproximadamente, 105 minutos. Para a pressão 0,37 mbar (P2), o tempo até a saturação da umidade foi de, aproximadamente, 110 e 115 minutos para freezer e ultrafreezer, respectivamente. Na pressão 1,03 mbar (P3) a diferença entre o tempo necessário para a reidratação das polpas liofilizadas entre os congelamentos foi de, aproximadamente, 15 minutos a mais para o tratamento rápido.

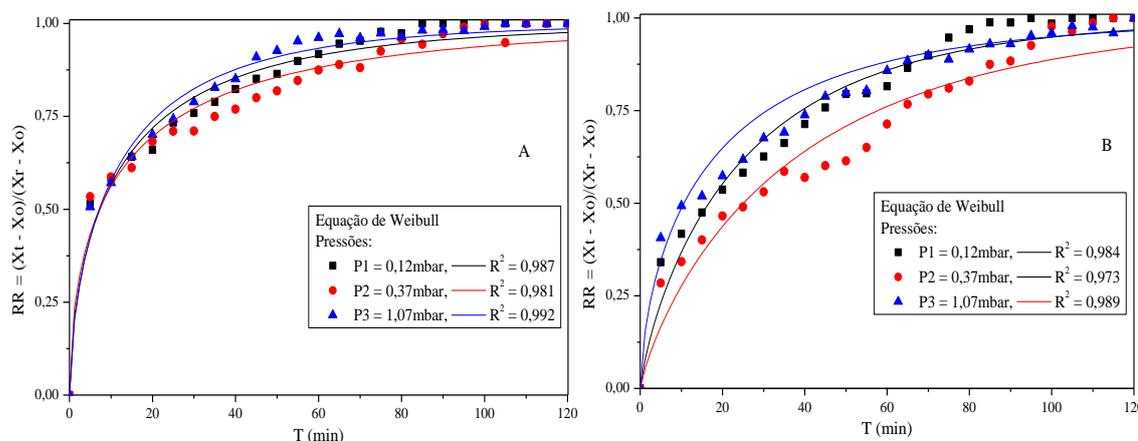
#### **5.4.2.1 Equacionamento matemático da reidratação**

Os modelos matemáticos não-lineares de Peleg e Weibull baseados na lei do resfriamento de Newton foram ajustados aos dados experimentais da cinética de reidratação da polpa de abacate submetida a diferentes condições de congelamento (-26°C e -80°C) e pressão de liofilização (0,12 mbar, 0,37 mbar e 1,07 mbar) conforme está apresentado nas Figuras 5.10 e 5.11.



**Figura 5.10.** Razão de reidratação em base seca em função do tempo para reidratação de cubos da polpa de abacate liofilizado submetidos a diferentes pressões de liofilização e ajustados à equação de Peleg.

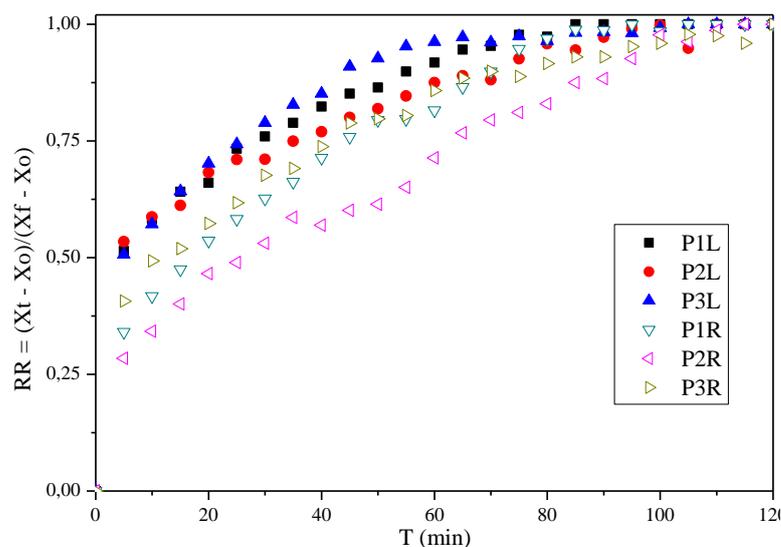
*Descrição:* A) Congelamento em freezer (-26°C); B) Congelamento em ultrafreezer (-80°C).



**Figura 5.11.** Razão de reidratação em base seca em função do tempo para reidratação de cubos da polpa de abacate liofilizada submetidos a diferentes pressões de liofilização e ajustados à equação de Weibull.

*Descrição:* A) Congelamento em freezer (-26°C); B) Congelamento em ultrafreezer (-80°C).

Para melhor visualizar o comportamento cinético do ganho de umidade, pode ser observada na Figura 5.12 a reidratação das amostras submetidas previamente em congelamento lento e rápido.



**Figura 5.12.** Razão de reidratação em base seca em função do tempo para reidratação de cubos da polpa liofilizada de abacate

Na Tabela 5.5 estão apresentados os valores dos parâmetros estimados das equações de Peleg e Weibull para a cinética de reidratação da polpa do abacate processada em diferentes condições. Os valores de coeficientes de correlação ( $R^2$ ) foram iguais ou superiores a 0,968 indicando que as equações estudadas podem ser utilizadas para descrever o comportamento do processo apesar de que os melhores ajustes para ambas as equações foi reportado pelo tratamento P3F com  $R^2$  igual a 0,990 e 0,992 para as equações de Peleg e Weibull, respectivamente.

Os parâmetros gerados pelas equações de Peleg e Weibull indicam que as condições de processo influenciaram nas características de reidratação da polpa de abacate. Os menores valores dos parâmetros  $K_1$  e  $\psi$  podem ser observados para os tratamentos em que a polpa foi congelada em freezer. Isto explica o comportamento da reidratação em que há a rápida absorção de água e o aumento instantâneo da umidade nos períodos iniciais do processo como também observados na Figura 5.12. Por outro lado, os maiores valores destes parâmetros foram obtidos para as polpas tratadas em congelamento rápido indicando uma taxa mais reduzida de absorção de umidade (Figura 5.12), o que também se comprova a influência do tamanho dos cristais de gelo no processo de reidratação. A influência da pressão entre os tratamentos também foi observada, uma vez que a amostra congelada em freezer e tratada com uma pressão de 0,37 mbar obteve o menor valor de  $\psi$  mostrando a maior taxa de absorção de água nos

períodos iniciais. Em contrapartida, avaliando-se as amostras tratadas em ultrafreezer observou-se uma menor taxa de absorção de água para o tratamento P2U. Tal correlação também foi observada para os valores do parâmetro  $K_2$ , porém indicando a capacidade que o material tem de absorver umidade.

Ao comparar os valores de  $\theta$  listados na Tabela 5.5, verifica-se que as amostras congeladas em freezer oferecem menores resistências à transferência de massa quando comparadas às amostras do congelamento rápido. Da mesma forma que o observado para os outros parâmetros, nota-se que o tratamento P2U apresentou o maior valor, indicando sua maior resistência para absorver umidade.

**Tabela 5.5.** Parâmetros das equações de Peleg e Weibull e coeficientes de correlação ajustados aos dados experimentais para reidratação de cubos da polpa de abacate.

Tratamentos	Peleg			Weibull		
	$K_1$ (min.kg <sub>ms</sub> /kg <sub>ág.</sub> )	$K_2$ (kg <sub>ms</sub> /kg <sub>ág.</sub> )	$R^2$	$\psi$ (-)	$\theta$ (min)	$R^2$
P1F	9,42±0,85	0,94±0,02	0,983	0,60±0,04	13,46±0,96	0,987
P2F	9,45±1,16	0,98±0,02	0,968	0,53±0,04	14,40±1,29	0,981
P3F	8,62±0,61	0,94±0,01	0,990	0,64±0,03	12,64±0,69	0,992
P1U	25,29±1,65	0,83±0,03	0,989	0,81±0,05	26,17±1,31	0,984
P2U	37,74±3,25	0,74±0,04	0,979	0,83±0,07	38,95±2,06	0,973
P3U	18,64±1,45	0,95±0,03	0,986	0,65±0,03	22,16±1,05	0,989

*PI = 0,12 mbar; P2 = 0,37 mbar; P3 = 1,07 mbar; F: Freezer; U: Ultrafreezer;*

#### 5.4.2.2 Índices de reidratação

Na Tabela 5.6 estão apresentados os valores médios dos índices utilizados para avaliar as propriedades de reidratação da polpa de abacate submetida a diferentes condições de congelamento, liofilização e reidratação.

A partir dos resultados obtidos na Tabela 5.6 para capacidade de absorção de água (WAC), observa-se que, independente da condição de processo utilizada, a reconstituição completa das amostras não foi possível, uma vez que o maior valor alcançado para o índice não ultrapassou 0,70. Este comportamento também foi reportado em trabalhos da literatura (BHALE, 2004; MARQUES, 2008; ATARÉS,

2009). A menor capacidade foi encontrada para o tratamento P3F (54%) seguido do P3U com 62%. Já as amostras P2F e P2U obtiveram similaridade com 67%. O tratamento P1F apresentou índice de capacidade de absorção de água (70%), pouco superior quando comparado com P1U (68%). Verifica-se também que independente do tipo de congelamento, a capacidade de absorção de água é diretamente afetada por baixas pressões. A regressão nos valores do índice WAC em função do aumento nos valores de pressão pode ser explicada pelo provável impacto que a pressão próxima ao vácuo causa ao material durante a frente de sublimação do produto (MARFART, 1996). Em pressões reduzidas (próxima ao vácuo absoluto), a sublimação do gelo ocorre de maneira rápida não afetando a estrutura do material. Por outro lado, em altas pressões, a passagem da camada limiar de transformação do gelo em vapor ocorre de maneira lenta podendo favorecer em mudanças na estrutura interna das amostras. Segundo Chang & Fischer (1995), a taxa de sublimação máxima de um determinado produto pode ser alcançada através da redução da pressão, que tende ao vácuo, na liofilização em função da temperatura da amostra, porém este mecanismo não é típico para qualquer condição de temperatura e pressão.

**Tabela 5.6.** Índices de reidratação para a polpa de abacate liofilizada em diferentes condições de congelamento, liofilização e reidratação.

Índices	Tratamentos					
	P1F	P2F	P3F	P1U	P2U	P3U
WAC	0,70±0,01	0,67±0,01	0,54±0,02	0,68±0,01	0,67±0,00	0,62±0,01
DHC	0,58±0,01	0,61±0,02	0,58±0,01	0,64±0,01	0,63±0,01	0,61±0,01
RA	0,41±0,02	0,41±0,01	0,31±0,03	0,43±0,01	0,42±0,00	0,38±0,02

*P1 = 0,12 mbar; P2 = 0,37 mbar; P3 = 1,07 mbar; F: Freezer; U: Ultrafreezer;*

A capacidade de retenção de sólidos do material (DHC) apresentados na Tabela 5.6, variou de 58 para 64%, em que os maiores valores, porém não significativos, do índice foram obtidos para os tratamentos que passaram pelo congelamento rápido. Desta forma, pode-se afirmar que o congelamento das amostras em temperatura de -80°C, preliminar à liofilização, favorece na redução das perdas de sólidos naturalmente incorporados à matriz celular, minimizando a lixiviação dos mesmos para o meio

aquoso no momento do processo de reidratação. A lixiviação destes sólidos durante a reidratação implica em perdas de compostos essenciais que mantêm a qualidade dos alimentos (GARCIA-PASCUAL, *et al.*, 2006; MARQUES, 2008; MALDONADO, *et al.*, 2010). Também para as amostras congeladas em ultrafreezer, não foi possível observar a influência da pressão sobre os valores de DHC da polpa de abacate. Os menores valores de capacidade de retenção de sólidos obtidos para as amostras submetidas ao congelamento lento estão diretamente associados à lixiviação de sólidos para água em decorrência do rompimento das células em consequência da formação dos cristais irregulares na etapa de congelamento em freezer.

Com relação ao índice capacidade de reidratação (RA), verifica-se que as amostras congeladas à -80°C (ultrafreezer) obtiveram os maiores valores correspondentes a 64, 63 e 61% para P1U, P2U e P3U, respectivamente. O índice mede a capacidade do produto seco para reidratar e mostra os danos do tecido causado pelo processo de congelamento, liofilização e reidratação. Tais danos também foram observados por Moreira *et al.*, (2008) em secagem convectiva. Segundo Marques (2008), os resultados de RA indicam que a lixiviação de solutos exerce uma influência significativa sobre a capacidade de reidratação das frutas liofilizadas, uma vez que se obtêm os efeitos combinados de WAC e DHC. Dentre as pressões de vácuo utilizadas no estudo, pode-se notar que a de 1,07 mbar (P3) reduziu a capacidade de reidratação da polpa de abacate, independente do tipo de congelamento avaliado.

## **5.5 Influência do congelamento, liofilização e reidratação sobre a qualidade da polpa de abacate**

### **5.5.1 Acidez total titulável, pH e sólidos solúveis totais (°Brix)**

Os dados avaliando a influência do processamento sobre as características físico-químicas da polpa de abacate estão apresentadas na Tabela 5.7. Os resultados médios de acidez total titulável (%) para as polpas processadas apresentaram uma redução significativa em seus valores quando comparados à polpa *in natura*. Observa-se que a polpa fresca, inicialmente, tinha uma concentração média, aproximada de 4,57%, e após ser submetida a diferentes condições de processo e, posteriormente reidratada, alcançou valores mínimos de 1,26% e 1,46% para P1U e P1F, respectivamente. Os valores

máximos de ATT para a polpa processada foram obtidos para a pressão P2 (0,37 mbar) independente do tipo de congelamento, indicando que dentre as pressões e temperaturas utilizadas, os tratamentos P2F e P2U tiveram menores perdas de ácidos totais depois de reidratadas. Os tratamentos com pressão de 1,07 mbar (P3) obtiveram concentrações intermediárias de ATT entre as polpas processadas, com valores aproximados de 1,69% para o congelamento rápido e 1,70% para o congelamento lento. A redução no teor de ácidos totais está associada à perda de sólidos solúveis por lixiviação durante o processo de reidratação, causados pelo rompimento da parede celular das amostras em função dos cristais de gelo. Correlacionando os tipos de congelamento lento e rápido, nota-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para a mesma pressão, exceto entre P1F e P1U que apesar de ser diferentes se apresentaram com as menores concentrações de ácidos totais.

**Tabela 5.7.** Características físico-químicas (médias e desvios padrões) da polpa de abacate submetida ao congelamento, liofilização e reidratação.

Tratamentos	ATT (%)**	pH	SST (°Brix)
<i>In natura</i>	4,57±0,17 <sup>a*</sup>	6,36±0,05 <sup>b</sup>	6,25±0,25 <sup>a</sup>
P1F	1,46±0,01 <sup>d</sup>	6,82±0,13 <sup>a</sup>	5,08±0,38 <sup>bc</sup>
P2F	1,93±0,06 <sup>b</sup>	6,83±0,04 <sup>a</sup>	4,08±0,14 <sup>c</sup>
P3F	1,70±0,06 <sup>c</sup>	6,41±0,01 <sup>b</sup>	4,67±0,38 <sup>c</sup>
P1U	1,26±0,01 <sup>e</sup>	6,83±0,04 <sup>a</sup>	6,22±0,60 <sup>ab</sup>
P2U	1,97±0,04 <sup>b</sup>	6,87±0,06 <sup>a</sup>	4,42±0,38 <sup>c</sup>
P3U	1,69±0,01 <sup>c</sup>	6,51±0,02 <sup>b</sup>	4,08±0,52 <sup>c</sup>

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a  $p \leq 0,05$  pelo teste de Tukey. P1 = 0,12 mbar; P2 = 0,37 mbar; P3 = 1,07 mbar; F: Freezer; U: Ultrafreezer. \*\*Acidez total titulável (%) em base seca;

O pH das polpas de abacate submetidas ao congelamento lento e rápido e liofilizadas a diferentes pressões não apresentaram diferença significativa entre si a  $p \leq 0,05$  pelo teste de Tukey, exceto para os tratamentos liofilizados à pressão de 1,07mbar (P3). Observa-se que a perda de ácidos verificados pelos valores de ATT acarretaram em um aumento no valor e pH, porém, nem para todos os tratamentos este aumento foi significativo. Apesar do meio se tornar menos ácido para P3F e P3U, como

observado nos valores de ATT, não houve alterações significativas na disposição de íons protonados ( $H^+$ ) que definem o potencial hidrogeniônico das amostras. Segundo Cecchi (2003), alterações no pH de alimentos após o processamento pode indicar mudanças nas características microbiológicas, químicas, físicas e sensoriais do produto.

O processamento utilizado sobre a polpa de abacate ocasionou um efeito redutivo nos valores de sólidos solúveis totais (SST), exceto para o tratamento P1U que se manteve significativamente igual à polpa *in natura*. Desta forma, as polpas submetidas à pressão de 0,12 mbar (P1) apresentaram menores reduções nos valores de SST quando comparadas com outros tratamentos. A igualdade significativa também pode ser observada entre os tratamentos em que a polpa foi submetida ao congelamento em freezer (F) e ultrafreezer (U) para a mesma pressão de 0,37 mbar (P2). Este fato também se repete para a pressão P3 (1,07 mbar) de ambos os métodos de congelamento. Os efeitos e valores encontrados para SST se correlacionam com os apresentados pelo índice DHC em que se confirma a perda de sólidos durante a reidratação. A perda de sólidos solúveis é um fenômeno cinético durante a reidratação, cujo principal mecanismo é a difusão e em uma taxa maior do que a absorção de água (LEWICKI, 1998; MACHADO *et al.*, 1998; GARCÍA-PASCUAL *et al.*, 2006).

### 5.5.2 Colorimetria

Os resultados dos parâmetros de cor instrumental da polpa de abacate submetida a diferentes condições de congelamento e liofilização estão apresentados na Tabela 5.8, a fim de se observar a influência do congelamento, pressão de liofilização e reidratação sobre as amostras. Pode ser notado que houve alterações significativas no parâmetro luminosidade ( $L^*$ ) das polpas liofilizadas e para as amostras reidratadas submetidas, principalmente, ao congelamento lento (freezer) e em maiores pressões.

A luminosidade das amostras liofilizadas que passaram pelo congelamento em ultrafreezer teve um aumento não significativo, exceto para a pressão P3 que houve uma redução. O congelamento lento manteve os valores de  $L^*$  para as amostras liofilizadas, exceto para a polpa submetida à maior pressão (P3). Em trabalhos encontrados na literatura foi reportado o ganho de luminosidade ( $L^*$ ) para polpa de graviola liofilizada congelada em freezer (-26°C) e ultrafreezer (-80°C) (SANTOS, 2011), para frutas tropicais (MARQUES, 2008) e para morangos (MEDA & RATTI, 2005).

**Tabela 5.8.** Valores médios e desvios padrões das coordenadas de cor para a polpa do abacate em diferentes condições de congelamento, liofilização e reidratação.

		<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>C</b>	<b>h (°)</b>
<b>Tratamentos com pressão 0,12 mPa (P1)</b>						
Lento	<i>In natura</i>	77,86±4,79	-0,46±2,38	45,76±3,73	45,77±3,75	90,58±2,87
	Liofilizada	74,10±6,16	-0,81±3,30	47,81±5,74	47,90±5,76	90,67±3,97
	Reidratada	70,89±5,02	1,81±2,97	55,63±3,20	55,71±3,23	88,15±3,01
Rápido	<i>In natura</i>	76,72±4,74	-1,51±2,93	44,81±3,55	44,9±3,59	91,82±3,72
	Liofilizada	82,26±2,86	-2,42±2,73	48,92±2,60	49,05±2,71	92,71±3,00
	Reidratada	77,56±4,09	0,00±3,14	56,05±2,77	56,14±2,76	90,13±3,17
<b>Tratamentos com pressão 0,37 mPa (P2)</b>						
Lento	<i>In natura</i>	80,75±1,69	-1,61±1,91	44,59±2,18	44,65±2,18	92,06±2,46
	Liofilizada	80,92±2,12	-2,10±1,88	49,7±2,72	49,8±2,72	92,44±2,18
	Reidratada	73,13±3,08	1,20±2,80	54,16±3,74	54,25±3,67	88,57±3,11
Rápido	<i>In natura</i>	77,49±2,43	-1,20±3,00	47,06±3,96	47,13±3,97	91,44±3,59
	Liofilizada	81,38±3,48	-2,10±2,33	48,99±3,87	49,06±3,87	92,44±2,66
	Reidratada	74,09±4,76	1,12±2,93	53,56±7,16	53,66±7,14	88,59±3,40
<b>Tratamentos com pressão 1,03 mPa (P3)</b>						
Lento	<i>In natura</i>	79,42±1,92	-1,74±2,22	45,69±2,58	45,76±2,58	92,22±2,76
	Liofilizada	54,67±6,71	2,22±4,00	49,78±9,53	49,99±9,55	87,54±4,63
	Reidratada	62,6±4,02	4,75±4,86	47,50±6,07	47,94±5,79	84,03±6,35
Rápido	<i>In natura</i>	77,56±3,63	-0,78±2,45	47,96±3,08	47,96±3,08	91,08±3,07
	Liofilizada	50,77±6,56	4,41±3,22	49,49±12,47	49,75±12,58	85,23±3,20
	Reidratada	60,26±4,62	3,11±2,55	48,09±5,21	48,26±5,26	86,43±2,98

O congelamento em ultrafreezer proporcionou a manutenção significativa dos valores de L\* para as pressões P1 e P2 das polpas reidratadas indicando que a pressão de 1,07 mbar (P3) influenciou a redução da luminosidade das amostras. Observa-se redução, porém não significativa ( $p \leq 0,05$ ) nos valores de L\* das amostras congeladas em freezer e liofilizadas na pressão 0,12 mbar (P1), com média aproximada de 77,86 para a polpa *in natura* e 70,89 para a polpa reidratada. Por outro lado, para as amostras tratadas nas pressões P2 e P3 as reduções nos valores de luminosidade foram

significativas, variando de 80,75 da *in natura* para 73,13 da polpa reidratada e liofilizada na pressão 0,37 mbar e de 79,42 da polpa *in natura* para 62,6 para a polpa reidratada e liofilizada na pressão 1,03 mbar.

Com relação ao parâmetro  $a^*$  que varia do verde ao vermelho, podem-se observar para as amostras liofilizadas, que as pressões 0,12 e 0,37mbar (P1 e P2) favoreceram a tendência ao verde, apresentando valores inferiores à polpa *in natura*. Por outro lado, os tratamentos com pressão 1,07mbar (P3) resultaram em valores positivos de  $a^*$ , indicando que ocorreu uma tendência avermelhada nas amostras. Esta relação também pode ser observada na pressão P3 após a reidratação das polpas.

Outro fator a ser observado para o parâmetro  $a^*$  é que o tipo de congelamento influenciou na mudança da coloração da polpa, uma vez que as amostras congeladas em freezer apresentaram maior tendência ao vermelho quando comparadas com os tratamentos em ultrafreezer. López-Malo *et al.* (1999), atribuíram a mudança da coloração verde da polpa de abacate para a avermelhada à reações envolvendo a enzima polifenoloxidase (PPO) que produz compostos quinona de coloração marrom, associada ao vermelho. A maior disponibilização de oxigênio em produtos liofilizados devido à retirada da umidade pode ter acelerado as reações oxidativas envolvendo a enzima PPO. O tamanho dos cristais de gelo, com conseqüente rompimento da parede celular e liberação de substratos para reação é um dos maiores fatores que afetam a coloração de produtos liofilizados após a sua reconstituição (MARQUES, 2008).

Para as amostras reidratadas pode-se notar um aumento nos valores de  $a^*$ , independente do tratamento de congelamento ou pressão aplicado. Levando em consideração que o verde é uma das cores predominantes na polpa do abacate devido à presença da clorofila, observa-se que os valores variam do estado negativo, que representa o verde, para o positivo que tende ao vermelho, indicando a mudança na coloração natural da polpa e um possível escurecimento das amostras.

O parâmetro  $b^*$  representa uma variação entre a cor azul (-60 a 0) e o amarelo (0 a 60) (McGUIRE, 1992; BHALE, 2004). Observa-se que os valores obtidos para  $b^*$  foram positivos variando de 44,65 para 56,14, indicando a presença de componentes de coloração amarela na polpa. Segundo Lu *et al.*, (2005) a predominância da cor amarela na polpa de abacate está diretamente relacionada à presença de carotenóides. O aumento nos valores de  $b^*$ , também pode ser verificado após a reidratação da polpa para todas as

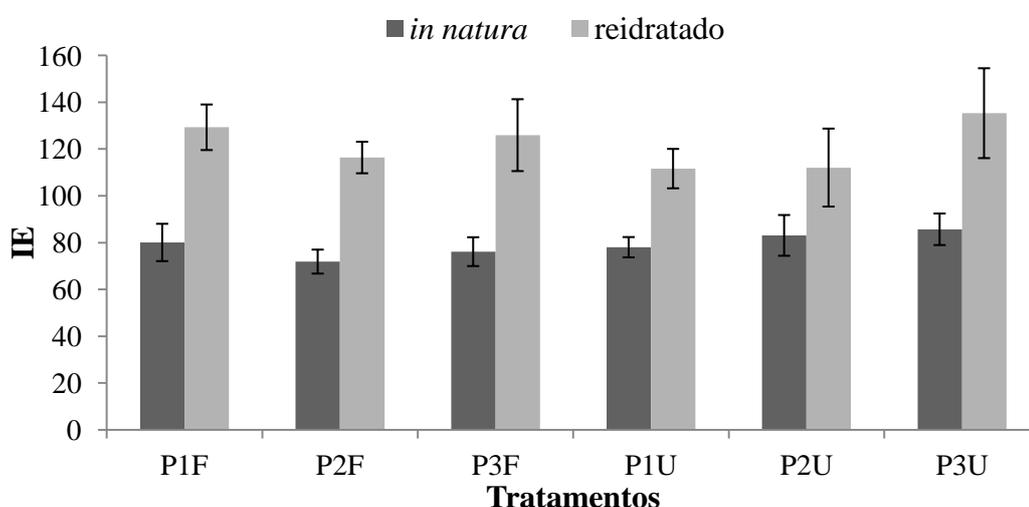
condições de processo avaliadas neste trabalho, porém não significativo para alguns casos. Este fato está associado à disponibilização de carotenóides, juntamente com os sólidos após o congelamento e absorção da água na reidratação como foi verificado para os índices de DHC e SST. O aumento nos valores do parâmetro  $b^*$ , correspondentes ao amarelo mais escuro, para polpa liofilizada está relacionado à elevação da concentração de carotenóides, representado por uma parcela de sólidos secos, após a retirada da umidade das amostras. Também pode ser observado que não foi possível avaliar diferenças significativas para este parâmetro ao relacionar os tipos de congelamento. Outros autores associaram o decréscimo nos valores de  $a^*$  e  $b^*$  à decomposição da clorofila e outros pigmentos, e reações não enzimáticas (GUINÉ & BARROCA, 2012; MASKAN, 2001).

Os índices de saturação *Croma* (C) podem identificar a pureza da cor, em que valores altos indicam maior desvio do ponto correspondente ao cinza, com menor cromaticidade (AMARANTE *et al.*, 2008). Observa-se que de forma geral houve um aumento significativo nos valores de C como o esperado, uma vez que o índice relaciona os valores de  $a^*$  e  $b^*$  afetados pelo processamento. Apenas para o tratamento com maior pressão não foi verificada alterações significativas no valor de C, apesar do aumento constatado. Marques (2008) associou à redução do índice de saturação (C) das amostras de goiaba e papaya liofilizadas à degradação dos carotenóides totais contrariando ao observado neste trabalho para a polpa do abacate em que a liofilização favoreceu na disponibilização destes compostos ajudando a manter ou aumentar de forma não significativa os valores do índice e a coloração amarela. Guiné & Barroca (2012) encontraram um pequeno efeito da liofilização sobre o parâmetro C de pimentas.

O ângulo *hue* ( $h$ ) ou ângulo de cor é uma média obtida a partir da relação arcotangente da razão  $b^*/a^*$  em que as cores vermelho ( $0^\circ$ ), amarelo ( $90^\circ$ ), verde ( $180^\circ$ ) e azul ( $270^\circ$ ) correspondem aos respectivos ângulos (AMARANTE *et al.*, 2008). Desta forma, por meio dos valores obtidos de  $h$  é possível avaliar a correlação de compostos como carotenóides e clorofilas na polpa liofilizada de abacate. Pode-se observar que não houve variação significativa de  $h$  para os tratamentos estudados, no entanto, as amostras tratadas à pressão de 1,07 mbar (P3), tanto liofilizadas quanto reidratadas, tiveram redução do ângulo *hue*, enquanto que em P1 e P2 o fato ocorreu apenas nas amostras reidratadas, mostrando a influência da variação da pressão no processo. De maneira

geral, os valores do índice giraram em torno de 90° que corresponde à coloração amarela clara predominante na polpa do abacate variedade Collinson. Guiné & Barroca (2012), reportaram alterações do ângulo  $h$  de pimentas sobre o efeito do aumento da temperatura e confirmaram sua estabilidade em produtos liofilizados.

O índice de escurecimento pode ser observado na Figura 5.13 e representa a pureza da cor marrom e tem sido uma importante função nos processos em que ocorrem escurecimentos enzimáticos ou não enzimáticos (BUERA *et al.*, 1986; GUERRERO *et al.*, 1996; CASTAÑÓN *et al.*, 1999).



**Figura 5.13.** Índice de escurecimento (IE) da polpa do abacate submetida a diferentes condições de congelamento e liofilização.

É possível observar na Figura 5.13 que o processamento aplicado para a polpa de abacate envolvendo os congelamentos em freezer (-26°C) e ultrafreezer (-80°C), a liofilização na diferentes pressões (0,12, 0,37 e 1,03mbar) e a reidratação acarretaram em um aumento significativo da coloração marrom das amostras, indicando um aumento considerável do índice de escurecimento em relação à polpa *in natura*. A influência do congelamento, liofilização e reidratação sobre a polpa de abacate já foi observada para os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$  e  $h$  na Tabela 5.8.

A partir dos valores médios de IE aplicado e seus respectivos desvios padrões na Figura 5.13, não foi possível detectar diferença significativa entre os tratamentos estudados. Os índices variaram de 71,90 para polpa *in natura* para 135,32 do tratamento P3U processado. Resultados similares de aumento do índice de escurecimento para

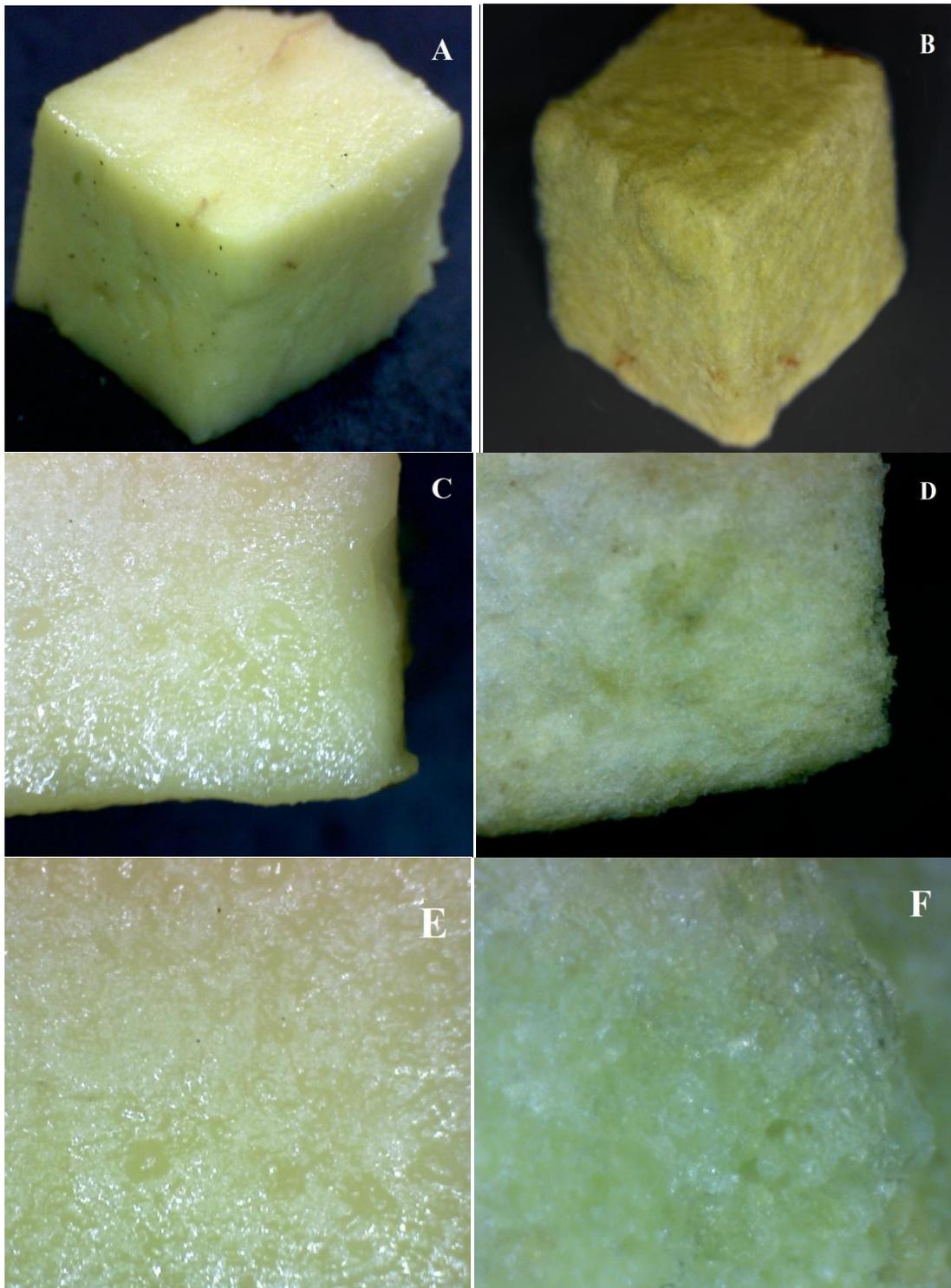
produtos liofilizados foram encontrados por Schebor *et al.* (1998). Flink (1974) também detectou escurecimento em leite desnatado liofilizado. Hommami & René (1997) em estudos com morangos liofilizados, reportaram um índice de escurecimento considerável tanto para a polpa quanto para a casca.

### 5.5.3 Microscopia

A mudança na aparência da polpa de abacate influenciada pelo processo de liofilização pode ser observada na Figura 5.14A-F, onde estão apresentadas imagens superficiais microscópicas em diferentes magnitudes. Observa-se que a polpa *in natura* apresenta nítida presença de umidade aparentando ser um produto “molhado” ao refletir a luz, além de manter uma superfície uniforme. Em contrapartida, nota-se a ausência de umidade na superfície da polpa liofilizada e uma aparência de produto “esponjoso” que pode ser facilmente transformado em pó. Esta característica foi reportada por Marques (2008) em trabalhos com liofilização de frutas tropicais.

Nas Figuras 5.14A-B pode-se notar que o processo de liofilização, aparentemente, preservou as propriedades estruturais quando comparado com a polpa do abacate *in natura*, levando em consideração que a polpa da fruta é altamente susceptível a reações enzimáticas, o que pode ser considerado um diferencial entre os métodos de secagem. Provavelmente a ausência de água líquida e as baixas temperaturas requeridas durante o processo de liofilização foram fatores de maior importância para se manter a qualidade da polpa do abacate, evitando uma acentuada lixiviação de compostos e a solubilização de substâncias pécticas responsáveis por mudanças na estrutura do produto como o encolhimento. Santana & Gasparetto (2009) avaliando a influência do método de secagem sobre a microestrutura da fibra alimentar do albedo de laranja constataram que a liofilização se sobressaiu em termos de conservação da estrutura das amostras.

A imagem com aproximação de 150x (Figura 5.14F) mostra que a perda de umidade favoreceu a cristalização e concentração de sólidos. Segundo Soraes Junior *et al.* (2003), a concentração de sólidos é um dos fatores que levam a formação de cristais, em que ocorre a separação do líquido favorecendo a atração entre as moléculas. Em outros trabalhos encontrados na literatura, observou-se a formação de cristais em produtos liofilizados (CARLOS *et al.*, 2005; ALVES, *et al.*, 2008).



**Figura 5.14.** Microscopia da polpa de abacate *in natura* e liofilizada em diferentes aproximações. A) *In natura* (60x), B) Liofilizada (60x), C) *In natura* (100x), D) Liofilizada (100x), E) *In natura* (150x) e F) Liofilizada (150x).

Pelo método microscópico utilizado não foi possível observar a formação de poros na polpa de abacate liofilizada independente do tipo de congelamento ou pressão estudada neste trabalho.

### 5.5.3 Propriedades mecânicas

O efeito do tipo de congelamento das diferentes pressões de liofilização sobre as propriedades mecânicas da polpa do abacate estão apresentados na Tabela 5.9.

**Tabela 5.9.** Propriedades mecânicas (valores médios e desvio padrão) da polpa de abacate liofilizada reidratada.

<b>Tratamentos</b>	<b>Dureza (N)</b>	<b>Trabalho (mJ)</b>	<b>Adesividade (mJ)</b>	<b>Estiramento (mm)</b>
<i>In natura</i>	0,93±0,16 <sup>a*</sup>	3,32±0,66 <sup>a</sup>	0,58±0,23 <sup>a</sup>	2,62±1,35 <sup>a</sup>
P1F	0,48±0,07 <sup>c</sup>	1,24±0,28 <sup>c</sup>	0,15±0,10 <sup>b</sup>	2,51±0,77 <sup>a</sup>
P2F	0,57±0,20 <sup>bc</sup>	1,41±0,27 <sup>c</sup>	0,11±0,10 <sup>b</sup>	1,52±0,89 <sup>a</sup>
P3F	0,42±0,14 <sup>c</sup>	1,32±0,64 <sup>c</sup>	0,22±0,15 <sup>b</sup>	2,62±1,11 <sup>a</sup>
P1U	0,89±0,25 <sup>a</sup>	2,15±0,53 <sup>b</sup>	0,19±0,10 <sup>b</sup>	1,95±0,61 <sup>a</sup>
P2U	0,83±0,41 <sup>ab</sup>	1,88±0,74 <sup>bc</sup>	0,17±0,08 <sup>b</sup>	2,03±1,27 <sup>a</sup>
P3U	0,72±0,19 <sup>abc</sup>	1,68±0,44 <sup>bc</sup>	0,27±0,09 <sup>b</sup>	2,26±0,68 <sup>a</sup>

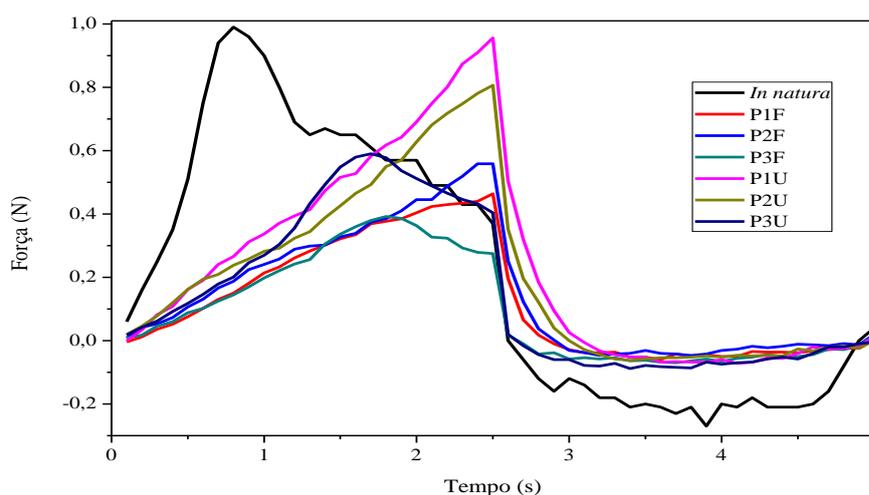
\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a  $p < 0,05$  pelo teste de Tukey. P1 = 0,12 mbar; P2 = 0,37 mbar; P3 = 1,07 mbar; F: Freezer; U: Ultrafreezer.

Com relação à dureza (N), a análise estatística mostra que as polpas congeladas em ultrafreezer (-80°C) não apresentaram diferença significativa da polpa *in natura* a  $p < 0,05$  pelo teste de Tukey, independente da pressão utilizada no processo de liofilização. Por outro lado, todos os tratamentos em que a polpa foi congelada em freezer convencional (-26°C) se diferiram significativamente da polpa *in natura*, apresentando menores valores médios de dureza (N) e trabalho (mJ). Bhale (2004) estudando a influência da reidratação de cubos de cenoura também encontrou redução significativa na dureza quando comparadas com as amostras *in natura*. As alterações de amolecimento ocorridas na polpa congelada em freezer convencional podem ser justificadas pelos grandes poros formados durante o processo reduzindo a resistência à

penetração do corpo de prova. Resultados semelhantes para produtos liofilizados foram encontrados na literatura (BABBIC *et al.*, 2009; SANTOS, 2011; RHIM *et al.*, 2011). Delgado & Rubiolo (2005) ao avaliarem a influência do tipo de congelamento em morango, constataram que o congelamento rápido foi o que mais conservou as microestruturas das amostras.

Os processos de congelamento, liofilização e reidratação foram responsáveis por alterações na adesividade (mJ) das amostras. Observa-se que as amostras submetidas ao processamento apresentaram diferenças significativas da polpa *in natura* a  $p < 0,05$  pelo teste de Tukey mostrando menor resistência ao recolhimento do corpo de prova, caracterizada como força adesiva, porém não diferiram entre si. Os resultados obtidos de estiramento (mm) da amostra sobre a superfície, não apresentaram diferença significativa a  $p < 0,05$  pelo teste de Tukey entre os tratamentos, indicando que o processamento não estendeu a estrutura das amostras durante a penetração do corpo de prova.

A Figura 5.15 ilustra o comportamento das amostras durante a análise de suas propriedades mecânicas. Observa-se que o pico mais elevado das curvas representa as respectivas durezas (N) onde os maiores valores foram obtidos pela polpa *in natura* e os tratamentos congelados em ultrafreezer e os menores valores estão representados pela polpa congelada em freezer convencional.



**Figura 5.15.** Comportamento gráfico da polpa de abacate reidratada submetida a diversos pré-tratamentos de congelamento e pressão de liofilização e os níveis de compressão.

*Descrição:* P1 = 0,12 mbar; P2 = 0,37 mbar; P3 = 1,07 mbar; F: Freezer; U: Ultrafreezer.

O trabalho (mJ) necessário para superar a força interna dentro de uma amostra é representado pela área gerada pelo quadrante positivo do gráfico (BROOKFIELD, 2011). Pode ser observado na Figura 5.15, que as amostras que possuem um maior pico de dureza (N) apresentam maior área produzida caracterizada pelo comportamento gráfico. Assim sendo, as amostras submetidas ao congelamento lento obtiveram menores valores de trabalho (mJ) e as congeladas em ultrafreezer juntamente com a polpa *in natura* apresentaram maiores áreas.

A adesividade (mJ) é representada no gráfico da Figura 5.15, como o trabalho necessário para remover o corpo de prova das amostras gerando no gráfico uma área que pode ser medida a partir da força (N) igual a zero depois do pico máximo e localizada no quadrante negativo da curva (BROOKFIELD, 2011). Observa-se que a área referente à adesividade produzida pela polpa *in natura* é maior que as áreas produzidas pelos outros tratamentos, o que justifica seu maior valor de, aproximadamente, 0,58 mJ.

Com relação ao estiramento (mm) das amostras, é representado pela distância entre o ponto de força zero (N) no início do teste de compressão e o pico mínimo do quadrante negativo que representa a força adesiva (N). Na Figura 5.15 podem ser observadas as distâncias similares entre estes pontos, o que justifica a igualdade no valor de estiramento para todos os tratamentos.

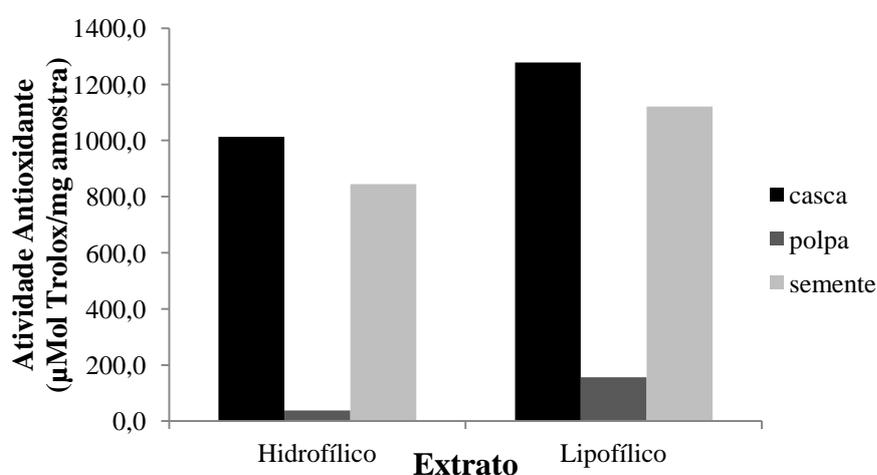
#### **5.5.4 Atividade antioxidante**

##### **5.5.4.1 Casca, polpa e semente do abacate**

Os resultados da caracterização da atividade antioxidante das frações hidrofílicas e lipofílicas da casca, polpa e semente de abacate da variedade Collinson determinada pelos ensaios de ABTS, FRAP e DPPH estão apresentadas nas Figuras 5.16-5.17. De maneira geral é possível observar a boa atividade antioxidante para a fração lipofílica e as diferenças não equivalentes nos resultados de atividade antioxidante correspondentes para cada método, o que indica que o princípio ativo em cada ensaio é determinante para se definir o potencial reativo da fruta. A variabilidade nos resultados de atividade antioxidante entre diferentes métodos foi encontrada em outros trabalhos (POOVARODOM, *et al.*, 2010; WANG *et al.*, 2010; VILLA-RODRÍGUEZ, *et al.*,

2011). Alguns autores ressaltam a importância de se utilizar diferentes métodos para determinação da atividade antioxidante a fim de obter confiabilidade nos resultados, uma vez que o princípio ativo é específico para cada um (PÉREZ-JIMÉNEZ *et al.*, 2008; RUFINO, *et al.*, 2010).

A Figura 5.16 apresenta os resultados de atividade antioxidante em  $\mu\text{Mol Trolox/mg}$  amostra obtidos pelo ensaio de ABTS. Pode-se notar que houve uma maior reatividade dos extratos hidrofílicos e lipofílicos da casca e semente com o radical  $\text{ABTS}^+$  quando comparados com os da polpa. Os valores obtidos para o extrato hidrofílico do abacate variedade Collinson foram de, aproximadamente, 1012,05, 38,4 e 845,1  $\mu\text{Mol Trolox/mg}$  para a casca, polpa e semente, respectivamente, enquanto que para a fração lipofílica os resultados encontrados foram de aproximadamente 1278,1, 156,3 e 1120,9  $\mu\text{Mol Trolox/mg}$ , para casca, polpa e semente, respectivamente, mostrando que o método possui uma maior afinidade pelos compostos bioativos presentes na fração apolar (hidrofóbica) do abacate.

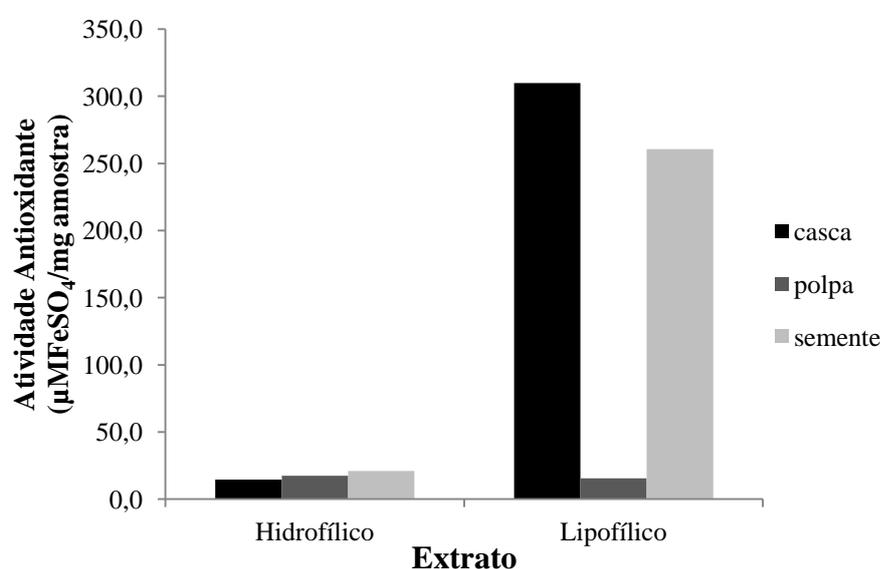


**Figura 5.16.** Atividade antioxidante das frações hidrofílicas e lipofílicas do abacate pelo método  $\text{ABTS}^+$ .

Na fração hidrofílica, a polpa teve um potencial antioxidante aproximadamente trinta vezes menor que a casca e vinte e duas vezes menor que a atividade da semente. Por outro lado, o extrato lipofílico da polpa, apesar do aumento em relação à fração hidrofílica, subestimou em aproximadamente oito vezes a capacidade antioxidante do extrato da casca e, aproximadamente, sete vezes o da semente. Alguns autores afirmam que o ensaio de ABTS não caracteriza a reatividade da amostra devido a possíveis

interações com outros compostos não-fenólicos, em que muitas vezes torna-se incoerente a relação entre os compostos fenólicos e os valores de TEAC (equivalente TROLOX) (ARNAO, 2000; HAENEN, 2005; ROGINSKY & LISSI, 2004; BERTOLDI, 2006). O cátion radical pode reagir com outros compostos aromáticos, independente do seu potencial antioxidante real chegando a superestimar os resultados (BECKER *et al.*, 2004; ROGINSKY & LISSI, 2004).

Os resultados da atividade antioxidante para frações hidrofílicas e lipofílicas da casca, polpa e semente de abacate variedade Collinson avaliadas pelo ensaio de redução do ferro (FRAP) estão apresentados na Figura 5.17.

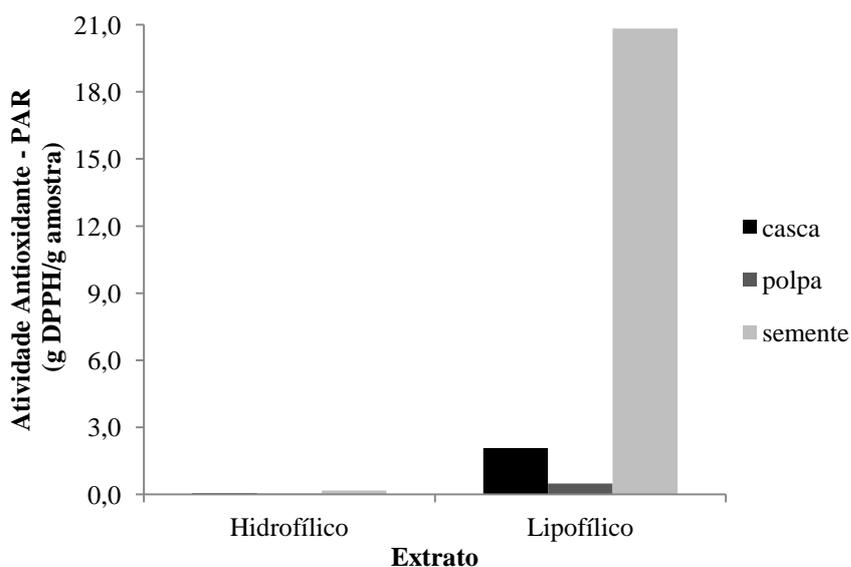


**Figura 5.17.** Atividade antioxidante das frações hidrofílicas e lipofílicas do abacate pelo método FRAP.

É possível observar que para os extratos hidrofílicos da polpa de abacate houve uma menor resposta à reação do ferro em relação aos extratos lipofílicos, exceto para a polpa que obteve uma similaridade. Os valores obtidos dos ensaios de FRAP para a fração hidrofílica foi de, aproximadamente, 14,5, 17,5 e 21,1 µMFeSO<sub>4</sub>/mg de casca, polpa e semente, respectivamente. Já para as frações lipofílicas do abacate os resultados obtidos foram de, aproximadamente, 309,84, 15,43 e 260,49 µMFeSO<sub>4</sub>/mg para a casca, polpa e semente, respectivamente. Desta forma, caracteriza-se que o método apresentou maior afinidade pelos compostos disponíveis na fração lipofílica da casca e semente, uma vez que os valores foram superiores a capacidade antioxidante das alíquotas

hidrofílicas e praticamente se manteve para a polpa. Gorinstein *et al.* (2010) reportaram uma boa capacidade de redução do ferro (18,47  $\mu$ MTE/g s.s.) para o abacate, porém o resultado se mostrou inferior à atividade da manga (34,62  $\mu$ MTE/g s.s.).

Na Figura 5.18 é possível observar as respostas para a atividade antioxidante das frações hidrofílicas e lipofílicas do abacate para o método DPPH expresso em poder antiradical (PAR).



**Figura 5.18.** Atividade antioxidante das frações hidrofílica e lipofílica do abacate em poder antiradical (PAR) pelo método DPPH.

Observa-se que o ensaio obteve boa representatividade apenas para o extrato lipofílico da semente, abrangendo uma pequena parcela da composição de bioativos do fruto. A atividade antioxidante da porção hidrofílica quase não foi revelada pelo método quando se relaciona a escala obtida para o PAR da fração lipofílica na semente. A fração hidrofílica gerou valores de PAR, aproximadamente de, 0,05, 0,032 e 0,175 gDPPH/g, para casca, polpa e semente, respectivamente. Na fração lipofílica os índices para casca, polpa e semente foram de, aproximadamente, 2,075, 0,48 e 20,824 gDPPH/g, respectivamente. Wang *et al.*, (2010) também reportaram o maior potencial antioxidante na semente, seguido da casca e polpa, pelo método DPPH para diversas variedades (Slimcado, Simmonds, Loretta, Choquette, Booth 7, Booth 8, Tonnage e Hass) de abacate. Os resultados de atividade antioxidante do abacate variedade Collinson contraria os reportados por Villa-Rodríguez, *et al.* (2011), que encontrou

maior potencial (0,52 g polpa/mL DPPH) para a fração hidrofílica da polpa do abacate variedade *Hass* em relação à fração lipofílica (0,1 g polpa/mL DPPH)

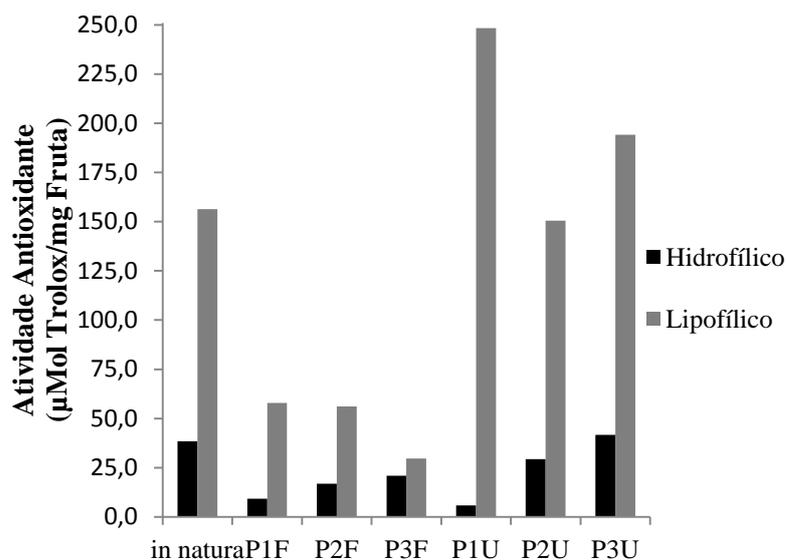
#### 5.5.4.2 Polpa processada

Os efeitos do processamento envolvendo congelamento (lento e rápido), diferentes pressões de liofilização e a reidratação sobre a atividade antioxidante em base seca das frações hidrofílicas e lipofílicas da polpa de abacate variedade Collinson utilizando os métodos ABTS<sup>·+</sup>, FRAP e DPPH<sup>·</sup> estão apresentados nas Figuras 5.19-5.21. No geral pode ser observado que os resultados obtidos de atividade antioxidante para a polpa do abacate processada mostram que os extratos lipofílicos, apesar de sofrer perdas com o processamento, tiveram maior representação do que os extratos hidrofílicos nos métodos ABTS e DPPH, diferenciando nos ensaios de FRAP que predomina os extratos hidrofílicos.

Avaliando a influência do pré-tratamento de liofilização sobre a polpa do abacate reidratada, observa-se que com as alterações nas condições de processo os extratos hidrofílicos e lipofílicos apresentaram variações no potencial antioxidante para os três métodos estudados. Notam-se reduções nos valores da atividade para todos os tratamentos, exceto para P1U e P3U que apresentou um leve aumento. O comportamento da atividade antioxidante entre os tipos de congelamento para os extratos hidrofílicos foram similares, em que se observam perdas de compostos bioativos a medida que a pressão foi elevada, o qual pode ser observado com nitidez no ensaio de ABTS na Figura 5.19. Por este ensaio é possível verificar que a polpa *in natura* tinha um potencial antioxidante de aproximadamente 38,4 µMol Trolox/mg e posteriormente ao ser processada apresentou valores de 9,2, 16,8 e 20,8 µMol Trolox/mg para P1F, P2F e P3F, respectivamente, e 5,9, 29,4 e 41,7 µMol Trolox/mg para P1U, P2U e P3U, respectivamente.

Com relação aos extratos lipofílicos da polpa processada (Figura 5.19), a atividade antioxidante pelo método ABTS mostrou uma redução significativa dos valores para os tratamentos congelados em freezer convencional em relação à polpa *in natura* (156,3 µMol Trolox/mg), chegando à 29,6 µMol Trolox/mg para P3F e um acréscimo para as amostras do congelamento rápido e liofilizadas sob pressões de 0,12mbar e 0,37mbar. O aumento pode estar diretamente relacionado à disponibilização

dos compostos bioativos com afinidade ao radical ABTS, liberados na matriz após o processo de reidratação. O congelamento rápido por produzir cristais pequenos pôde ter favorecido a manutenção destes compostos no interior da amostra, apenas liberando-os das células.

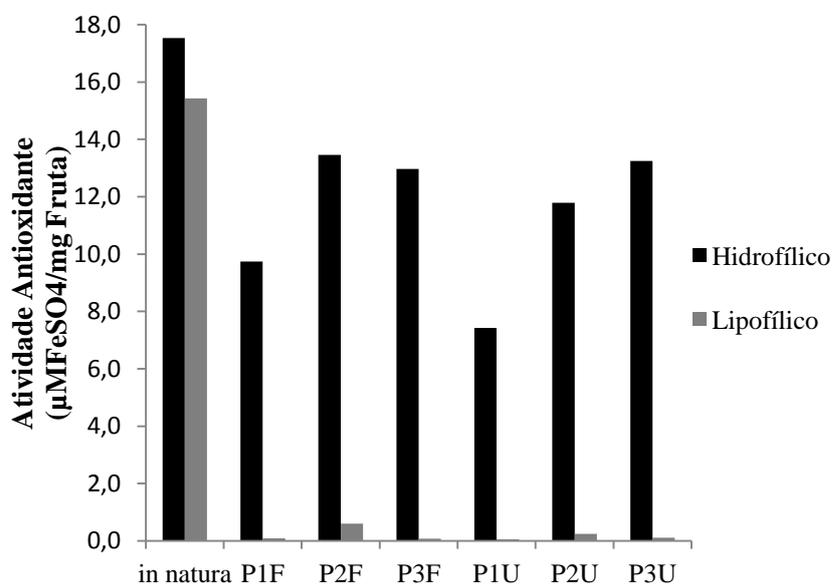


**Figura 5.19.** Atividade antioxidante das frações hidrofílica e lipofílica da polpa de abacate submetida aos processamentos pelo método ABTS.

Com relação aos ensaios de FRAP da polpa de abacate processada, é possível observar na Figura 5.20 a nítida afinidade dos compostos hidrofílicos da polpa pelo ferro. Também se pode verificar que o processamento da polpa de abacate acarretou em reduções significativas da atividade antioxidante de ambas as frações estudadas. De acordo com a Figura 5.20 é possível notar que após o processamento da polpa, o método FRAP identificou perdas consideráveis na atividade antioxidante de compostos reativos ao ferro do extrato lipofílico. Anteriormente, a predominância do potencial antioxidante destes compostos na polpa *in natura* eram de, aproximadamente, 15,43  $\mu\text{MFeSO}_4/\text{mg}$  e posteriormente alcançou valores mínimos de, aproximadamente, 0,05  $\mu\text{MFeSO}_4/\text{mg}$  para o tratamento P1U.

Para atividade antioxidante dos extratos hidrofílicos da polpa de abacate pelo método FRAP apresentados na Figura 5.20, é possível observar uma maior afinidade para os compostos hidrofílicos da polpa, uma vez que o mecanismo de redução do ferro

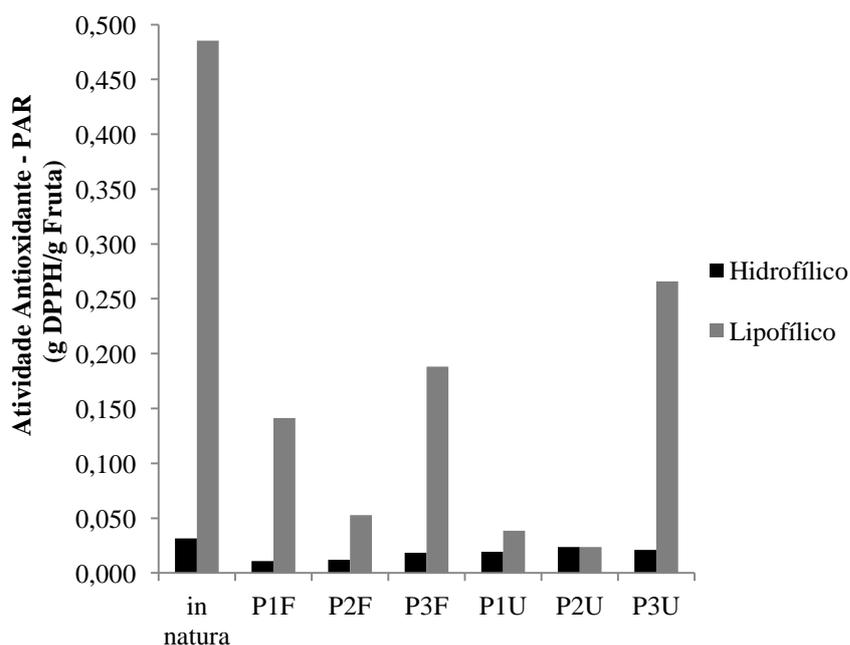
por transferência de elétrons se dá basicamente em meio aquoso e metanólico. Também houve uma redução aparente na atividade após o processamento das amostras alcançando valores mínimos de, aproximadamente, 7,4  $\mu\text{MFeSO}_4/\text{mg}$  para o tratamento P1U e máximos de 13,2  $\mu\text{MFeSO}_4/\text{mg}$  para P3U. Uma correlação similar aos ensaios de ABTS também pode ser notada, em que se verifica a redução de perdas de atividade das amostras à medida que se aumenta a pressão na etapa de liofilização. Neste caso, para o método FRAP, também pode ser observado que aparentemente o congelamento lento favoreceu mais que o congelamento rápido em minimizar as perdas de atividade antioxidante da fração hidrofílica.



**Figura 5.20.** Atividade antioxidante das frações hidrofílica e lipofílica da polpa de abacate submetida aos processamentos pelo método FRAP.

A Figura 5.21. mostra que o poder antiradical (PAR) pelo método DPPH dos extratos hidrofílicos e lipofílicos das amostras submetidas ao processamento obteve uma redução considerável em relação à polpa *in natura*. A fração hidrofílica *in natura* possuía um PAR de aproximadamente 0,032 gDPPH/g e após o processamento este valor foi decrescido para 0,011, 0,012 e 0,013 gDPPH/g para as amostras P1F, P2F e P3F, respectivamente e 0,019, 0,024 e 0,021 gDPPH/g para as amostras P1U, P2U e P3U, respectivamente indicando que o congelamento rápido favoreceu na redução de

perdas da atividade antioxidante da fração hidrofílica. Da mesma forma, observa-se que o processamento da polpa também resultou em perdas na atividade antioxidante da fração lipofílica, em que a polpa do abacate inicialmente detinha um valor aproximado de 0,489 gDPPH/g e após o congelamento, liofilização e reidratação o PAR reduziu para 0,141, 0,053 e 0,188 gDPPH/g para P1F, P2F e P3F, respectivamente e 0,039, 0,024 e 0,266 gDPPH/g para P1U, P2U e P3U, respectivamente.



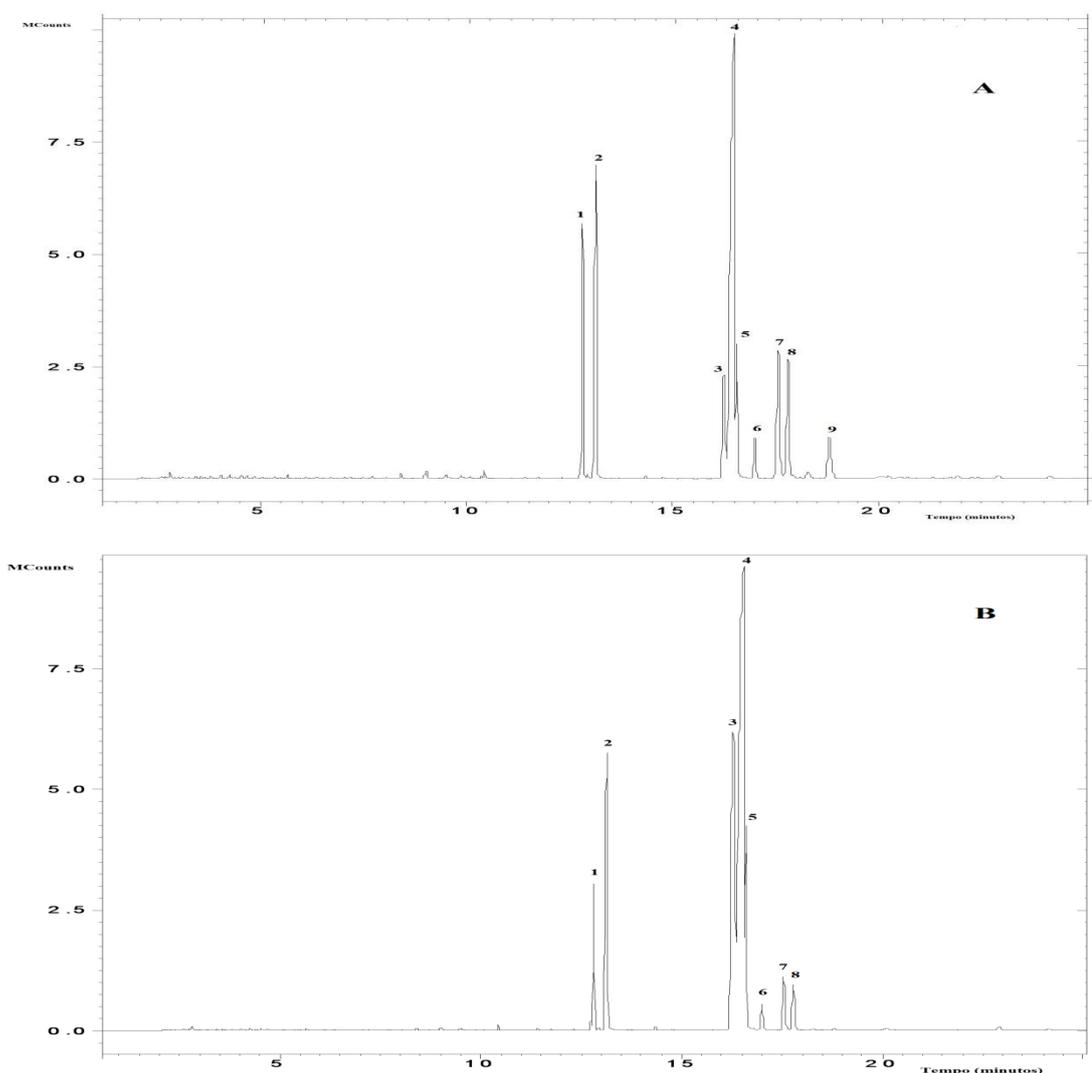
**Figura 5.21.** Atividade antioxidante das frações hidrofílica e lipofílica da polpa de abacate submetida aos diversos processamentos expressa em poder antiradical (PAR) pelo método DPPH.

### 5.6 Determinação dos Ácidos Graxos do Óleo da Polpa

O típico perfil cromatográfico e a composição em ácidos graxos do óleo da polpa de abacate desidratada em secador convectivo com ar a 50°C e liofilizada estão apresentados na Figura 5.22 e Tabela 5.10.

O ácido oléico (C18:1) foi o que apresentou o maior percentual de área para a polpa do abacate variedade Collinson em relação aos outros ácidos graxos para ambos os processos de desidratação utilizado, abrangendo um área total aproximada de 41,46% para a polpa seca em secador convectivo (50°C) e 36,98% para a polpa liofilizada. Salienta-se que estes dados são relativos e foram gerados após a normalização de

gromatogramas obtidos das análises. Na sequência decrescente de percentual de área para os ácidos da polpa desidratada em secador estão o ácido palmítico (C16:0), palmitoléico (C16:1), linoléico (C18:2), nonadecanóico (C19:0), linolênico (C18:3), elaídico (C18:1 *trans*), 10-nonadecanóico (C19:1) e esteárico (C18:0). Para o óleo de polpa liofilizada em ordem decrescente segue o ácido linolênico (C18:3), palmítico (C16:0), elaídico (C18:1-*trans*), palmitoléico (C16:1), linoléico (C18:2), nonadecanóico (C19:0) e esteárico (C18:0), indicando que o ácido 10-nonadecanóico não foi detectado.



**Figura 5.22.** Perfil dos cromatogramas de ácidos graxos do óleo da polpa de abacate variedade Collinson.

*Descrição:* A) Óleo da polpa desidratada em secador de bandejas (50°C), B) Óleo da polpa liofilizada. Identificação dos picos na sequência: 1 – C16:1; 2 – C16:0; 3 – C18:3; 4 – C18:1 *cis*; 5 – C18:1 *trans*; 6 – C18:0; 7 – C18:2; 8 – C19:0; 9 – C19:1.

De acordo com a Tabela 5.10, os ácidos graxos monoinsaturados representam a maior parcela da composição de óleos do mesocarpo seco (50°C) do abacate variedade Collinson com, aproximadamente, 58,6%, seguido dos saturados com 27,05% e poliinsaturados (14,36%). Da mesma forma, para os ácidos monoinsaturados do óleo da polpa liofilizada o fato se repete com um maior percentual de 53,32%, porém, a segunda maior parcela provém de ácidos poliinsaturados com 28,22% e posteriormente uma percentagem de 18,47% para os ácidos saturados. Outros autores também reportaram a maior parcela de ácidos monoinsaturados para a polpa do abacate (OZDEMIR & TOPUZ, 2004; MASSAFERA, *et al.*, 2010; VILLA-RODRIGUEZ *et al.*, 2011).

**Tabela 5.10.** Conteúdo relativo (%área) de ácidos graxos do óleo da polpa de abacate variedade Collinson submetida à secagem convectiva (50°C) e liofilização.

<b>Ácidos Graxos</b>	<b>Secador 50°C (%área)</b>	<b>Liofilizador (%área)</b>
Palmítico (C16:0)	17,44	14,77
Nonadecanóico (C19:0)	7,59	2,49
Esteárico (C18:0)	2,02	1,21
<b>Total saturados</b>	<b>27,05</b>	<b>18,47</b>
Oléico (C18:1 <i>cis</i> )	41,46	36,98
Palmitoléico (C16:1)	8,49	4,16
Elaídico (C18:1 <i>trans</i> )	5,44	12,18
10-nonadecanóico (C19:1)	3,21	ND
<b>Total monoinsaturados</b>	<b>58,60</b>	<b>53,32</b>
Linolênico (C18:3)	6,11	25,42
Linoléico (C18:2)	8,25	2,80
<b>Total poliinsaturados</b>	<b>14,16</b>	<b>27,22</b>

O método de secagem influenciou diretamente na composição de ácidos graxos da polpa de abacate variedade Collinson, uma vez que foi observado discrepâncias na predominância do composto para cada tipo de secagem. Observa-se que a polpa liofilizada apresentou um maior percentual de ácidos poliinsaturados em relação à composição da polpa seca a 50°C em secador convectivo. Provavelmente, a temperatura influenciou sobre as estruturas dos ácidos graxos, podendo ter ativado enzimas

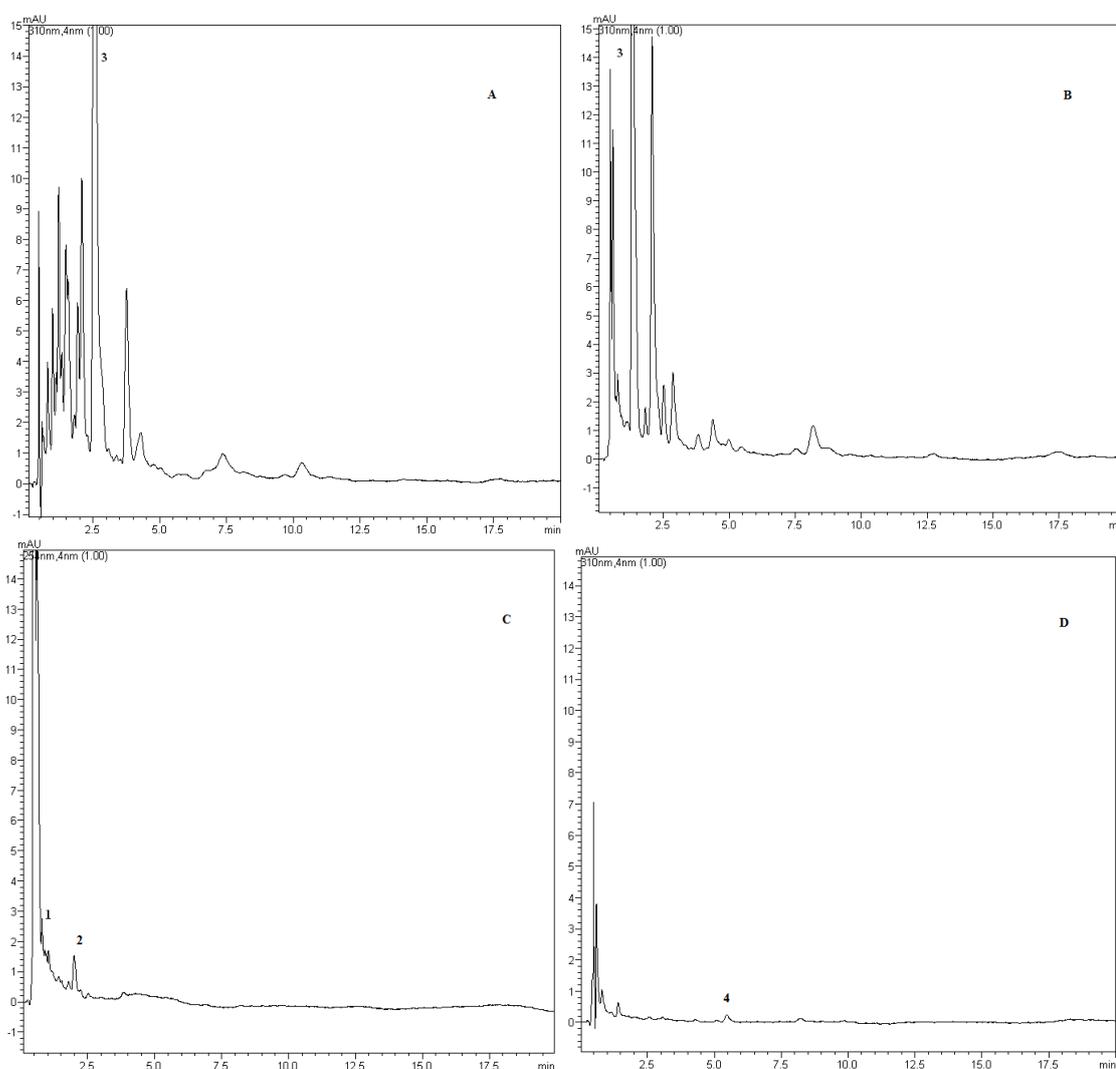
específicas para degradação ou conversão de um composto em outro. Harris *et al.* (1978), observaram que em temperaturas elevadas, houve reduções na porcentagem de ácido linoléico em óleo de girassol, aparentemente devido ao efeito da temperatura na atividade das enzimas desaturases, as quais são responsáveis pela conversão do ácido oléico para linoléico. Alguns autores reportaram a influência de altas temperaturas sobre a ativação de enzimas que sintetizam ácidos graxos no óleo de soja (WILCOX & CAVINS, 1992; LANNA *et al.*, 2005).

Diferente da polpa seca em secador convectivo, a característica esponjosa da polpa liofilizada permitiu a entrada de oxigênio no interior das amostras, o que pôde ter favorecido para reduzir a concentração de alguns ácidos graxos insaturados. Os ácidos graxos insaturados contêm uma ou mais ligações duplas em sua estrutura carbônica, o que leva a uma maior reatividade e susceptibilidade a termo-oxidação (GIESE, 1996). Desta forma, o contato do oxigênio com o óleo da polpa provoca a formação de hidroperóxidos que favorecem na degradação do óleo com a produção de hidroperóxidos termolábeis em radicais alcóxil alterando sabor e odor do produto (KESZLER *et al.*, 2000). Não foram encontrados trabalhos na literatura que avaliem a composição de ácidos graxos do óleo da polpa do abacate previamente liofilizada para fins de comparação.

### **5.7 Determinação de Compostos Não-Voláteis**

Como visto, a polpa de abacate é constituída de uma parcela significativa de matéria graxa e em sua maioria de ácidos graxos insaturados altamente reativos. Entretanto, em sua composição também pode ser verificada a presença de compostos fenólicos que podem agir em sinergia com os ácidos graxos e inibir possíveis oxidações lipídicas na matriz (HOLLMAN & KATAN, 1998). Nas Figuras 5.23 e 5.24 estão apresentados os cromatogramas para identificação de ácidos fenólicos presentes no fruto de abacate variedade Collinson determinados por sistema de UFLC acoplado com detector de arranjo de díodos (DAD) e o efeito do processamento sobre a sua composição, respectivamente. Pode ser observado que ao comparar os espectros e tempo de retenção com os padrões de ácidos fenólicos utilizados neste estudo, apenas o ácido clorogênico (pico 3) foi identificado na fração hidrofílica da casca e semente (Figura 5.23A – B). Na fração da polpa *in natura* em absorvância de 254 nm (Figura

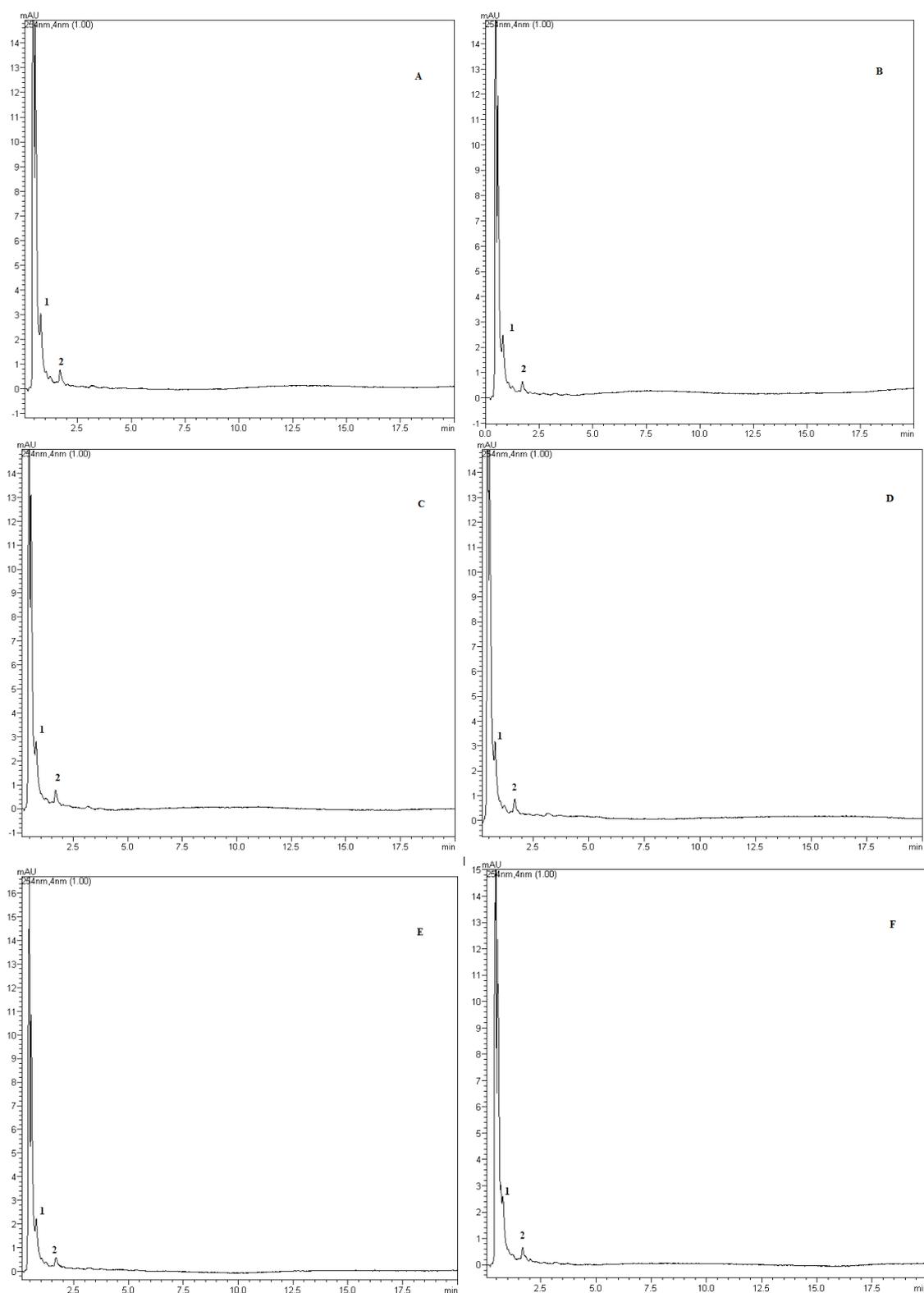
5.23C), identificou-se a presença de ácido gálico (pico 1) e ácido vanílico (pico 2), já na absorvância de 310 nm (Figura 5.23D) constatou-se a presença de ácido *p*-cumárico (pico 5). Gorisntain *et al.* (2010) relataram alta correlação entre os compostos fenólicos encontrados na polpa do abacate e seu potencial antioxidante.



**Figura 5.23.** Perfil dos cromatogramas de ácidos fenólicos da fração hidrofílica do abacate.

*Descrição:* A) Casca – 310nm, B) Semente 310nm, C) Polpa – 254nm e D) Polpa – 310nm. Identificação dos picos na sequência: 1 – ácido gálico, 2 – ácido vanílico, 3 – ácido clorogênico e 4 – ácido *p*-cumárico

A Figura 5.24, se referente ao cromatograma da fração hidrofílica da polpa reidratadas submetidas aos diversos pré-tratamentos de liofilização.



**Figura 5.24.** Perfil dos cromatogramas de ácidos fenólicos (310nm) da fração hidrofílica da polpa de abacate submetida aos diversos processamentos.

*Descrição:* A) P1F, B) P2F, C) P3F, D) P1U, E) P2U e F) P3F. Os picos estão enumerados na seguinte sequência: 1 – ácido gálico e 2 – ácido vanílico.

Na Tabela 5.11 estão apresentados os valores referentes à quantificação dos ácidos fenólicos na casca, semente e polpa (*in natura* e liofilizada) de abacate variedade Collinson. É possível verificar que a concentração de ácido clorogênico presente na fração hidrofílica da casca foi superior ( $101,56 \times 10^{-3}$  mg/mL) à da semente ( $87,74 \times 10^{-3}$  mg/mL).

**Tabela 5.11.** Conteúdo de ácidos fenólicos presentes na fração hidrofílica do abacate variedade Collinson por CLAE e influência do processamento sobre sua estabilidade.

Amostras	Gálico (254nm) $10^{-3}$ mg/mL	Clorogênico	p-cumárico	Vanílico
		(310nm) $10^{-3}$ mg/mL	(310nm) $10^{-3}$ mg/mL	(254nm) $10^{-3}$ mg/mL
Casca	*ND	101,56	ND	ND
Polpa	6,87	ND	0,66	1,83
Semente	ND	87,74	ND	ND
P1F	8,12	ND	ND	0,99
P2F	7,83	ND	ND	1,04
P3F	9,57	ND	ND	1,20
P1U	7,30	ND	ND	0,97
P2U	8,10	ND	ND	1,15
P3U	8,33	ND	ND	1,12

\*ND = Não Detectado;

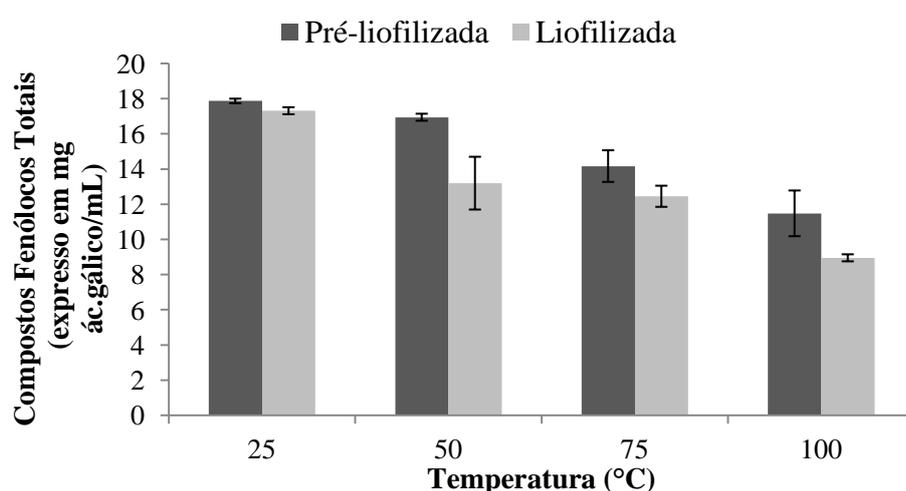
Variações na concentração de ácidos fenólicos presentes na polpa em função do processamento também podem ser observados na Tabela 5.11. Inicialmente a polpa *in natura* detinha uma concentração de  $6,87 \times 10^{-3}$ ,  $0,66 \times 10^{-3}$  e  $1,83 \times 10^{-3}$  mg/mL para ácido gálico, p-cumárico e vanílico, respectivamente. Após o processamento, não foi detectada a presença do ácido p-cumárico nas amostras de polpa, houve um aumento na concentração de ácido gálico e redução na composição de ácido vanílico.

O aumento na concentração de ácido gálico pode ser justificado pela sua disponibilização após o rompimento da estrutura celular e reidratação das amostras, alcançando um valor mínimo de, aproximadamente,  $7,30 \times 10^{-3}$  mg/mL para o tratamento P1U e um valor máximo de  $9,57 \times 10^{-3}$  mg/mL para P3F.

O processamento resultou em redução na concentração de ácido vanílico, alcançando valores mínimos de  $0,99 \times 10^{-3}$  mg/mL do tratamento P1F e máximos para  $1,20 \times 10^{-3}$  mg/mL para P3F. Os tratamentos P2U e P3U obtiveram valores aparentemente similares, assim como P1U e P1F. O decréscimo nos valores da concentração de ácido vanílico pode estar associado à degradações oxidativas provenientes do processo, uma vez que a reidratação se deu em contato direto com o oxigênio ambiente por um longo período de tempo. Alguns autores citam a degradação de ácidos fenólicos após a exposição ao oxigênio (MATTILA & KUMPULAINEN, 2002; ROSS *et al.*, 2009).

### 5.8 Conteúdo de Compostos Fenólicos Totais

Os resultados do teor de compostos fenólicos totais da polpa de abacate submetida ao tratamento térmico em banho aquecido (pré-liofilizada) mostraram que o processo teve efeito significativo entre as médias, revelando uma relação direta entre o aumento da temperatura de tratamento e a perda de compostos fenólicos. Também pôde ser observado que o processo de liofilização à pressão de 0,12 mbar, associado ao tratamento térmico, teve influência significativa para redução destes compostos como mostra a Figura 5.25.



**Figura 5.25.** Conteúdo de compostos fenólicos totais da polpa de abacate submetida aos diversos tratamentos térmicos.

Com relação às médias de conteúdo de compostos fenólicos totais, a polpa em temperatura de 25°C (*in natura*) pré-liofilizada apresentou o maior valor e à medida que

se elevou a temperatura do tratamento dos frutos, a perda destes compostos foi acentuada. Houve uma pequena redução, porém significativa, no conteúdo de compostos fenólicos totais entre o tratamento 25°C e 50°C de 17,87 mgAG/mL para 16,94 mgAG/mL, respectivamente. Já os tratamentos com 75°C e 100°C a redução na concentração foi superior aos demais, sendo os valores de 14,16 mgAG/mL e 11,47 mgAG/mL, respectivamente.

O conteúdo de compostos fenólicos totais da polpa pré-lioofilizada foi reduzido após ser submetida ao processo de liofilização, indicando que há influência do método de secagem sobre a perda destes compostos. Para a temperatura ambiente, houve uma pequena redução de 0,55 mgAG/mL da polpa pré-lioofilizada para a liofilizada, já na temperatura de 50°C o decréscimo foi acentuado de 3,74 mgAG/mL. Para temperaturas de 75°C e 100°C, houve perdas de 1,71 mgAG/mL e 2,53 mgAG/mL, respectivamente, nos produtos liofilizados. Os valores encontrados para a polpa *in natura* (17,87 mgAG/mL) se mostraram inferiores aos reportados por Tremocoldi (2011) (53,90 mgAG/mL) para o mesocarpo do abacate variedade *Hass*, ainda assim o teor de compostos fenólicos é considerável. A concentração de compostos fenólicos em vegetais estão sujeitas a alterações após a colheita, em que se inclui a variação de temperatura e mecanismos utilizados no processamento. Desta forma, altas temperaturas de processamento e exposição excessiva ao oxigênio promovem a oxidação enzimática e química dos compostos fenólicos, podendo contribuir para a sua redução (KAUR & KAPOOR, 2001; TREMOCOLDI, 2011).

### **5.9 Elaboração e Avaliação das Características Físicas e Físico-Químicas do Guacamole**

O guacamole foi elaborado seguindo a metodologia descrita no item 4.6.1, em que há variação da concentração de ácido cítrico na formulação do produto. Para obtenção do guacamole liofilizado, as amostras foram congeladas em freezer convencional (-26°C) a uma pressão de 0,12 mbar durante o processo de liofilização.

### 5.9.1 Influência da adição de ácido cítrico sobre as características físico-químicas e físicas do guacamole

#### 5.9.1.1 Acidez total titulável e pH

Os valores médios e desvio padrão da acidez titulável e pH das amostras de guacamole *in natura* e reidratadas após a liofilização, para cada tratamento podem ser observados nas Tabelas 5.12 e 5.13. O tratamento adicionado da maior concentração de ácido cítrico (AC3) obteve o maior valor de acidez titulável com 3,15 e 3,41 g ácido cítrico/100g amostra para as amostras *in natura* e reidratadas, respectivamente.

**Tabela 5.12.** Valores (médias e desvio padrão) da acidez titulável (g ácido cítrico/100g guacamole) das amostras de guacamole *in natura* e do produto reidratado após liofilização.

Ácido cítrico (concentração %)	<i>in natura</i>	reidratado
AC1 (1,05)	1,22±0,02 <sup>*bC</sup>	1,49±0,02 <sup>aC</sup>
AC2 (2,10)	2,23±0,11 <sup>bB</sup>	2,45±0,03 <sup>aB</sup>
AC3 (3,15)	3,15±0,06 <sup>bA</sup>	3,41±0,05 <sup>aA</sup>

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 5.13.** Valores (médias e desvio padrão) do pH das amostras de guacamole *in natura* e reidratado após liofilização.

Ácido cítrico (concentração %)	<i>in natura</i>	reidratado
AC1 (1,05)	3,47±0,03 <sup>*bA</sup>	4,21±0,01 <sup>aA</sup>
AC2 (2,10)	3,02±0,01 <sup>bB</sup>	3,53±0,01 <sup>aB</sup>
AC3 (3,15)	2,78±0,01 <sup>bC</sup>	3,27±0,01 <sup>aC</sup>

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

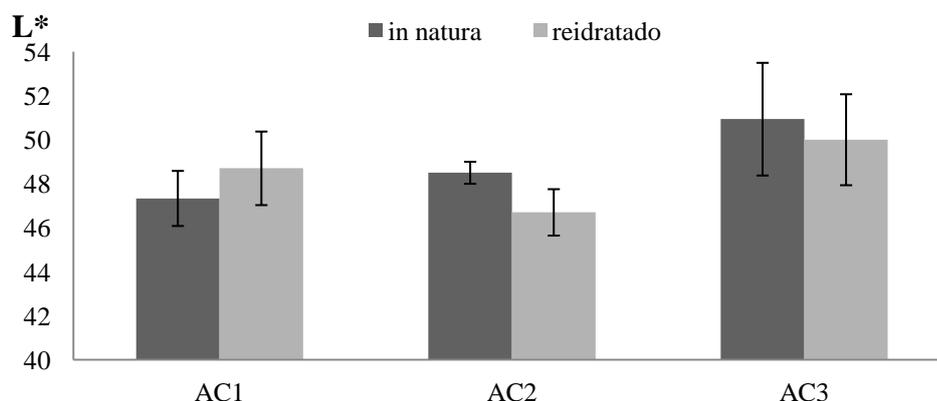
Houve um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) nos valores médios de acidez titulável e pH nas amostras reidratadas do guacamole liofilizado para os três tratamentos. Os

grandes cristais de gelo formados durante o congelamento lento rompem a estrutura celular da polpa de abacate e faz com que os ácidos orgânicos presentes na matéria sejam disponibilizados tornando a matriz mais ácida. Segundo Delgado (1997) apud Marques (2008) grandes cristais de gelo acarretam na deterioração da membrana celular causando a perda da habilidade para atuar como membrana semi-permeável ou barreira difusional levando a alterações nas propriedades térmicas, aromáticas e sensoriais do produto.

A adição de maiores concentrações de ácido cítrico no guacamole revelou uma redução significativa nos valores de pH da salada, podendo ser justificada com base no teste, pelo aumento da concentração de íons de hidrogênio no meio. O tratamento com menor concentração de ácido cítrico (AC1) obteve maiores valores de pH sendo 3,47 para o produto *in natura* e 4,21 para o produto reidratado e à medida que se acrescenta maiores concentrações de ácido cítrico no guacamole, o valor do pH foi reduzido. Comportamento semelhante com a variação do pH foi observado por Torrezan *et al.* (1999) em polpa de goiaba e Costa (2002) em polpa de cupuaçu ao adicionarem diferentes concentrações de ácido cítrico.

### 5.9.1.2 Colorimetria

Os resultados da coloração para os diferentes tratamentos estão apresentados nas Figuras 5.26, 5.27 e 5.28, podendo ser observada a influência da concentração do ácido cítrico e do processo de liofilização sobre os atributos L\*, a\* e b\*.

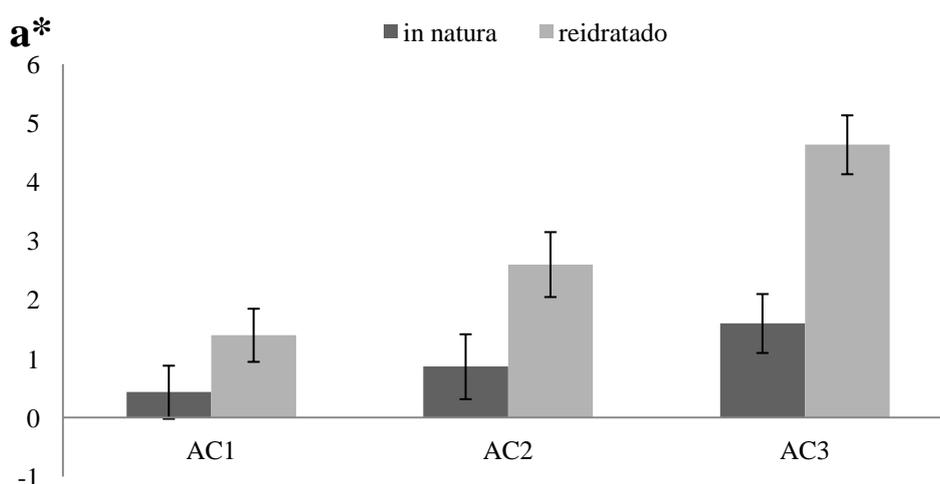


**Figura 5.26.** Variação da luminosidade (L\*) em função da concentração de ácido cítrico em guacamole *in natura* e reidratado.

Legenda: AC1 = 1,05% de ácido cítrico; AC2 = 2,10% de ácido cítrico; AC3 = 3,15% de ácido cítrico;

Com relação ao atributo luminosidade ( $L^*$ ), a Figura 5.26 mostra que não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as amostras de guacamole *in natura*, reidratado após liofilização e entre os diversos tratamentos empregados. Para a guacamole *in natura*, o parâmetro  $L^*$  teve valores de 47,3, 48,5 e 50,9 para AC1, AC2 e AC3, respectivamente. Nas amostras reconstituídas, os valores apresentados foram de 48,7, 46,7 e 50 para AC1, AC2 e AC3, respectivamente.

O parâmetro  $a^*$  aumentou significativamente ( $p < 0,05$ ) com o aumento da concentração de ácido cítrico para as amostras *in natura* e reidratadas como mostra a Figura 5.27, indicando uma tendência ao vermelho. Os valores de  $a^*$  para a guacamole *in natura* foram  $0,43 \pm 0,45$ ,  $0,86 \pm 0,55$  e  $1,6 \pm 0,5$  nos tratamentos AC1, AC2 e AC3, respectivamente, enquanto nas amostras reconstituídas, os valores apresentados foram de  $1,40 \pm 0,26$ ,  $2,6 \pm 0,56$  e  $4,63 \pm 1,12$  para AC1, AC2 e AC3, respectivamente.



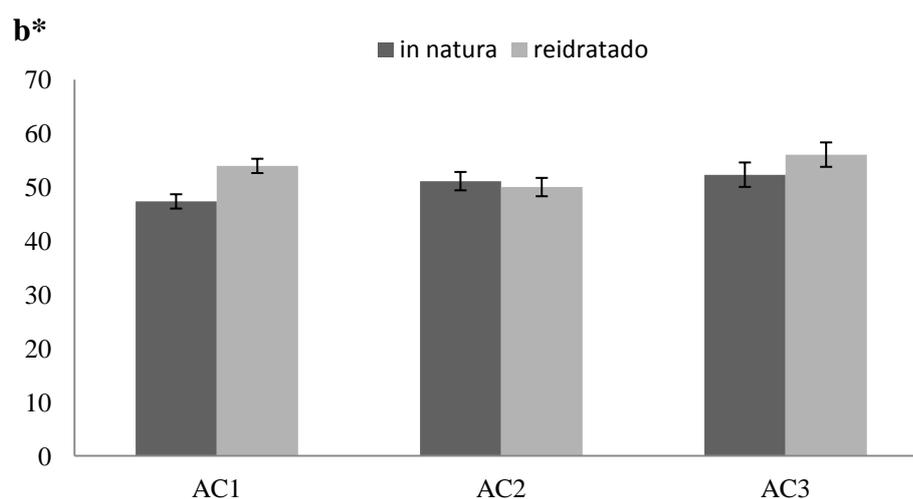
**Figura 5.27.** Variação de ( $a^*$ ) em função da concentração de ácido cítrico em guacamole *in natura* e reidratado.

*Legenda:* AC1 = 1,05% de ácido cítrico; AC2 = 2,10% de ácido cítrico; AC3 = 3,15% de ácido cítrico;

O ácido cítrico age como um agente antioxidante inibindo o escurecimento enzimático e algumas reações oxidativas (JESUS, 2008; FAGUNDES & AYUB, 2005). No entanto, os resultados para a guacamole *in natura* e reidratada mostram que o ácido cítrico não inibiu o escurecimento, uma vez que relata o escurecimento do produto após a reconstituição, sendo ainda mais intenso para os tratamentos com maior concentração do ácido cítrico. Lupetti *et al.* (2005) estudando fatias de pêras sob ausência de oxigênio

e adicionadas de solução de ácido cítrico em diferentes concentrações (0,01; 0,1 e 1,0 mol L<sup>-1</sup>) observaram que em concentração de 0,1 mol L<sup>-1</sup> houve maior escurecimento do que às fatias tratadas com 0,01 mol L<sup>-1</sup>. Assim como para as pêras, a concentração e o efeito antioxidante do ácido cítrico não foi eficiente para evitar o escurecimento da guacamole.

Na Figura 5.28 podemos observar os resultados de cor para o atributo b\*. Os valores de b\* para a guacamole *in natura* foram 47,33, 51,10, 52,30 nos tratamentos AC1, AC2 e AC3, respectivamente. Nas amostras reconstituídas, os valores apresentados foram de 53,93, 50 e 56,03 para AC1, AC2 e AC3, respectivamente. O valor de b\* variou (p<0,05) para o guacamole *in natura*, sendo maior para AC2 e AC3. Na forma reconstituída a formulação AC3 apresentou também maior valor de b\*, seguida pelo AC1 e AC2.



**Figura 5.28.** Variação de (b\*) em função da concentração de ácido cítrico em guacamole *in natura* e reidratado.

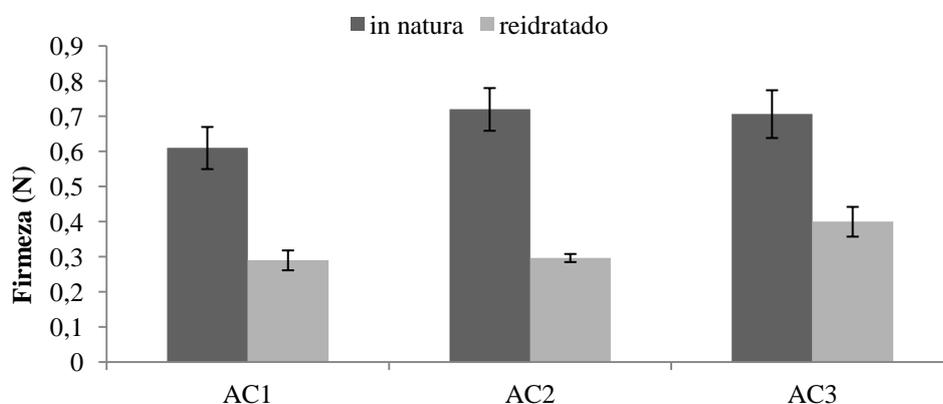
*Legenda:* AC1 = 1,05% de ácido cítrico; AC2 = 2,10% de ácido cítrico; AC3 = 3,15% de ácido cítrico;

### 5.10.3 Análise do Perfil de Textura (TPA)

Os resultados da dureza ou firmeza (N), gomosidade (N) e coesividade (-) da guacamole *in natura* e reidratada, estão apresentadas nas Figuras 5.29, 5.30 e 5.31.

Pode-se observar que para os três parâmetros do perfil de textura não houve diferença significativa para os tratamentos AC1, AC2 e AC3 na forma *in natura* e na forma reidratados. Portanto, as diferentes concentrações de ácido cítrico (1,05%; 2,1%;

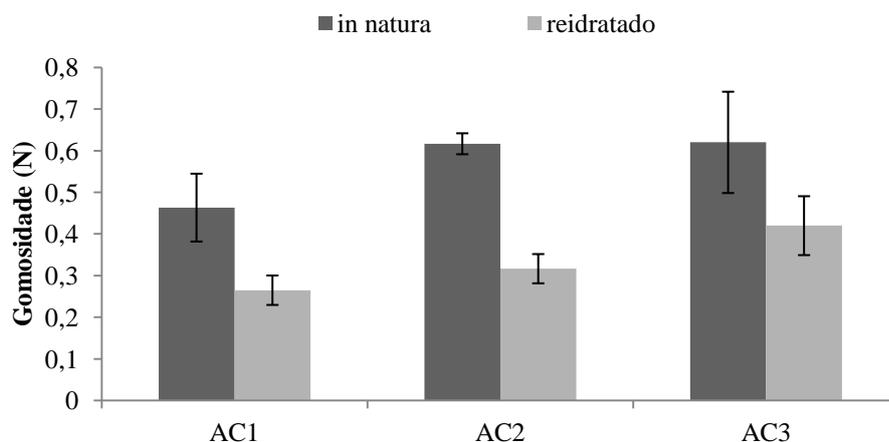
3,15%) não interferiram no perfil de textura das amostras de guacamole seja na forma *in natura* ou reidratada. Por outro lado, relacionando os três tratamentos de guacamole fresco com os tratamentos de guacamole reidratada pode-se observar que a firmeza e a gomosidade apresentaram-se significativamente ( $p < 0,05$ ) reduzidas para as amostras reidratadas de guacamole. Dessa forma, após ser liofilizado e reconstituído, o guacamole não recuperou o perfil de textura que antes apresentara. Souza *et al.* (2011) relataram que em fatias de abacate de diferentes geometrias a firmeza das amostras reidratadas foi bem menor quando comparada à fatia da fruta *in natura*.



**Figura 5.29.** Firmeza (N) das amostras de guacamole *in natura* e reidratada após liofilização, em função da concentração de ácido cítrico.

*Legenda:* AC1 = 1,05% de ácido cítrico; AC2 = 2,10% de ácido cítrico; AC3 = 3,15% de ácido cítrico;

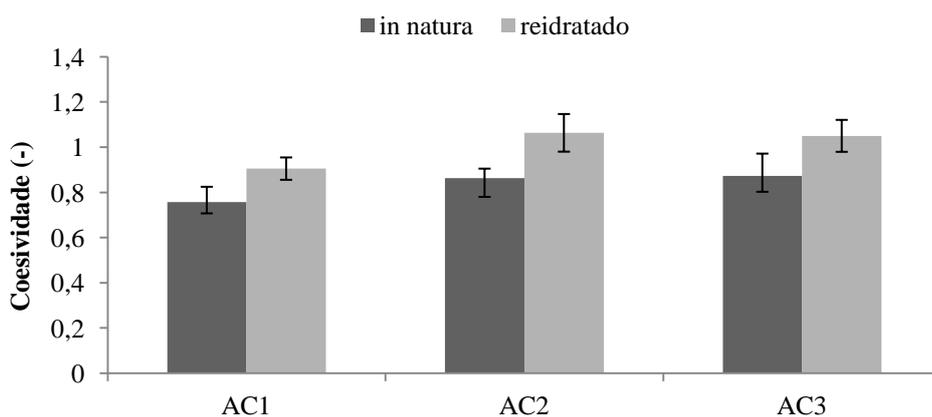
Devido ao congelamento lento aplicado ao material, a redução na firmeza das amostras reidratadas, provavelmente, se deve aos danos causados no tecido com a ruptura celular (DOSSAT, 2004; COLLA & PRENTICE-HERNÁNDEZ, 2003). Outras causas desta ruptura são a injúria celular ocasionada pelo aumento da pressão osmótica e a precipitação irreversível ou desnaturação dos constituintes coloidais da célula (Colla e Prentice-Hernández, 2003). As alterações provocadas nas células são irreversíveis, portanto, ao se reidratar um produto liofilizado que sofreu estes danos durante etapa anterior de congelamento, não se consegue alcançar a mesma textura do produto na forma *in natura*.



**Figura 5.30.** Gomosidade (N) das amostras de guacamole *in natura* e reidratada após liofilização, em função da concentração de ácido cítrico.

*Legenda:* AC1 = 1,05% de ácido cítrico; AC2 = 2,10% de ácido cítrico; AC3 = 3,15% de ácido cítrico;

A concentração de ácido cítrico teve pouca influência sobre a firmeza e gomosidade do guacamole reconstituído, sendo significativa ( $p < 0,05$ ) apenas a diferença da gomosidade entre o AC1 e AC3. Com relação à coesividade, não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos e entre as amostras de guacamole frescas e reidratadas.



**Figura 5.31.** Coesividade (-) das amostras *in natura* e reidratadas de guacamole em função da concentração de ácido cítrico.

*Legenda:* AC1 = 1,05% de ácido cítrico; AC2 = 2,10% de ácido cítrico; AC3 = 3,15% de ácido cítrico;

## 5.11 Avaliação Sensorial do Guacamole

### 5.11.1 Teste de diferença do controle

As notas atribuídas para os atributos da aparência, textura e sabor de diversos produtos de polpa e guacamole estão apresentados na Tabela 5.14. Analisando os dados, observa-se que todas as amostras de guacamole avaliadas diferiram significativamente ( $p < 0,0001$ ) da amostra controle (guacamole *in natura*) com relação a aparência, a textura e o sabor. No entanto, as amostras PF e PU, em que apenas a polpa foi reconstituída e os demais ingredientes estavam frescos, esta diferença foi bem menor, demonstrando que dessa forma, a amostra fica mais parecida com o guacamole *in natura*.

**Tabela 5.14.** Grau de diferença entre as amostras de guacamole *in natura*, elaborado com polpa liofilizada e guacamole reidratado após de liofilização.

Amostras	Médias das diferenças <sup>1</sup>		
	Aparência	Textura	Sabor
<i>In natura</i>	0,44±1,04	0,59±0,91	1,00±1,52
GF	5,34±1,21*	3,81±1,67*	4,66±1,45*
GU	5,16±0,99*	3,41±1,75*	4,41±1,48*
PF	2,34±1,33*	2,28±1,59*	2,84±1,61*
PU	2,66±1,15*	2,41±1,58*	2,91±1,61*
M.D.S <sup>2</sup>	0,642	0,821	0,867

<sup>1</sup>0=nenhuma diferença do Padrão; 8=muito diferente do Padrão; GF=guacamole freezer; GU=guacamole ultrafreezer; PF=polpa freezer; PU=polpa ultrafreezer.

\*Amostra não difere do Padrão a  $p < 0,0001$  de significância.

<sup>2</sup>M.D.S = Mínima diferença significativa.

A aparência das amostras GF e GU, conforme análise mostrada na ficha sensorial da Figura 4.3, foi considerada entre moderadamente e muito diferente do padrão, sendo, ou seja, a diferença entre estas amostras e o Padrão foi muito notada. Para as amostras PF e PU a média das diferenças ficou em ligeiramente diferente, para todos os atributos. Pelo exposto, fica evidente que o processo de liofilização e posterior reidratação afetou sensorialmente o guacamole, e que quando a liofilização é feita no produto pronto, amostras GF e GU, estas diferenças foram ainda mais notadas pelos

juízes. O congelamento, aparentemente, não é um processo que tem muita influência, uma vez que as médias para os tratamentos em freezer e ultrafreezer apresentaram valores próximos.

### 5.11.2 Teste de aceitação pelos consumidores

Os resultados para a aceitação das amostras de guacamole estão apresentados na Tabela 5.15.

**Tabela 5.15.** Notas (médias e desvios padrões) de aceitação para as diferentes formulações de guacamole.

Amostras	Aparência	Textura	Sabor	Impressão Global	Intenção de Compra
GF	7,12±1,41 <sup>ab*</sup>	7,30±1,54 <sup>a</sup>	6,75±1,68 <sup>b</sup>	7,07±1,46 <sup>ab</sup>	6,43±1,89 <sup>ab</sup>
GU	6,97±1,34 <sup>ab</sup>	7,37±1,21 <sup>a</sup>	6,60±1,74 <sup>b</sup>	6,68±1,61 <sup>b</sup>	6,05±2,08 <sup>b</sup>
PF	6,57±1,71 <sup>b</sup>	7,10±1,51 <sup>a</sup>	7,20±1,63 <sup>ab</sup>	7,18±1,38 <sup>ab</sup>	6,67±1,96 <sup>ab</sup>
PU	7,22±1,46 <sup>a</sup>	7,37±1,25 <sup>a</sup>	7,53±1,41 <sup>a</sup>	7,47±1,20 <sup>a</sup>	7,18±1,78 <sup>a</sup>

*Descrição das notas: 1=desgostei muitíssimo, 9=gostei muitíssimo; GF=guacamole freezer; GU=guacamole ultrafreezer; PF=polpa freezer; PU=polpa ultrafreezer. \*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si a  $p \leq 0,05$  pelo teste de Tukey.*

Observando as médias para todos os atributos, nota-se que de uma forma geral todas as amostras foram bem aceitas, com médias superiores a 6 (gostei ligeiramente). Com relação a aparência a amostra PU obteve a maior média, não diferindo significativamente ( $p < 0,05$ ) das amostras GF e GU, estas por sua vez, não diferiram também da amostra PF, que foi menos aceita para este atributo. Esta amostra, que foi submetida ao congelamento lento, fica com excesso de água não absorvida quando reidratada, prejudicando a aparência do produto, o que influenciou na aceitação dos consumidores. No entanto, ainda assim, a média para a aparência da amostra PF que foi de 6,57, mostra que houve boa aceitação - entre gostei ligeiramente e gostei moderadamente.

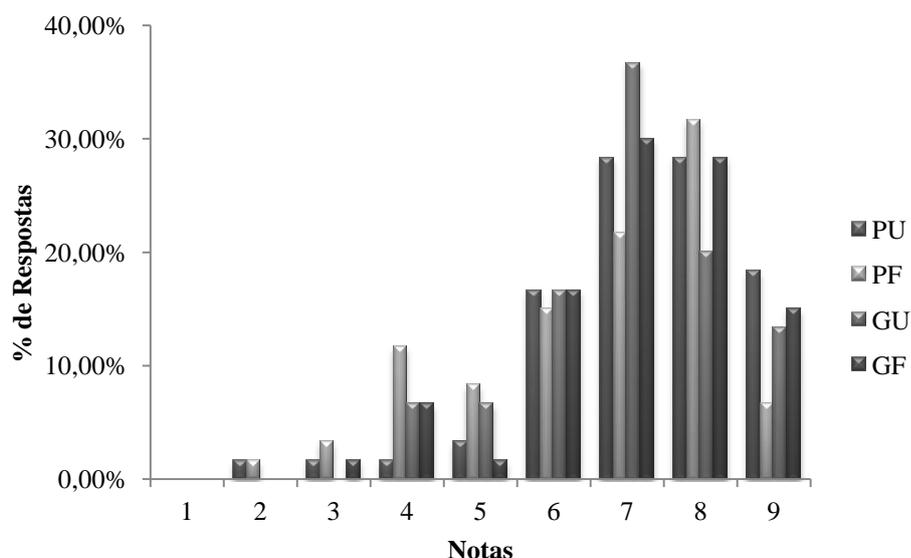
Não houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre todas as amostras de guacamole para a textura, isso mostra que a forma de congelamento, bem como a

liofilização apenas para a polpa ou para o guacamole pronto, não influenciou a aceitação da textura das amostras. Como discutido no Teste de Diferença do Controle, as amostras GF e GU diferenciaram-se mais do guacamole *in natura* do que as amostras PF e PU, no entanto, pôde-se observar pelo teste com os consumidores que esta diferença não prejudicou a aceitação das amostras GF e GU quanto a textura. Observa-se também que, embora o excesso de água da amostra PF tenha influenciado na avaliação da aparência, não influenciou na avaliação da textura da mesma, como poderia ocorrer, já que é um fator em que os dois atributos estão correlacionados.

Para o atributo sabor, mais uma vez se destacou a amostra PU, que obteve a maior média, seguida pela amostra PF, não havendo diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre ambas. Já as amostras GF e GU foram menos aceitas com relação ao sabor, o que pode ser justificado pelo fato de que nas amostras PF e PU os ingredientes são adicionados frescos, logo a intensidade do sabor é maior e próximo ao do guacamole *in natura*. Ainda assim, as amostras de guacamole liofilizado, GF e GU, tiveram boa aceitação quanto ao sabor, com médias entre gostei ligeiramente e gostei moderadamente, ao passo que as amostras PF e PU ficaram entre gostei moderadamente e gostei muito, conforme escala utilizada.

Com relação a impressão global e intenção de compra, a amostra PU obteve a maior média de aceitação, sendo que não houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre esta e as amostras PF e GF, estas amostras por sua vez não diferiram da amostra GU, que obteve a menor média de aceitação para a avaliação global e intenção de compra.

Na Figura 5.32 é apresentado o histograma de frequência para a aparência das amostras de guacamole. Todas as amostras foram bem aceitas com relação a aparência, pois a frequência de notas maiores do que 6 (gostei ligeiramente) é superior a 75%. Para a amostra PU, aproximadamente, 92% dos consumidores gostaram da aparência da amostra, contra 5% que rejeitaram e 3% que foram indiferentes, números que mostram o quanto esta amostra foi bem aceita pelos consumidores.

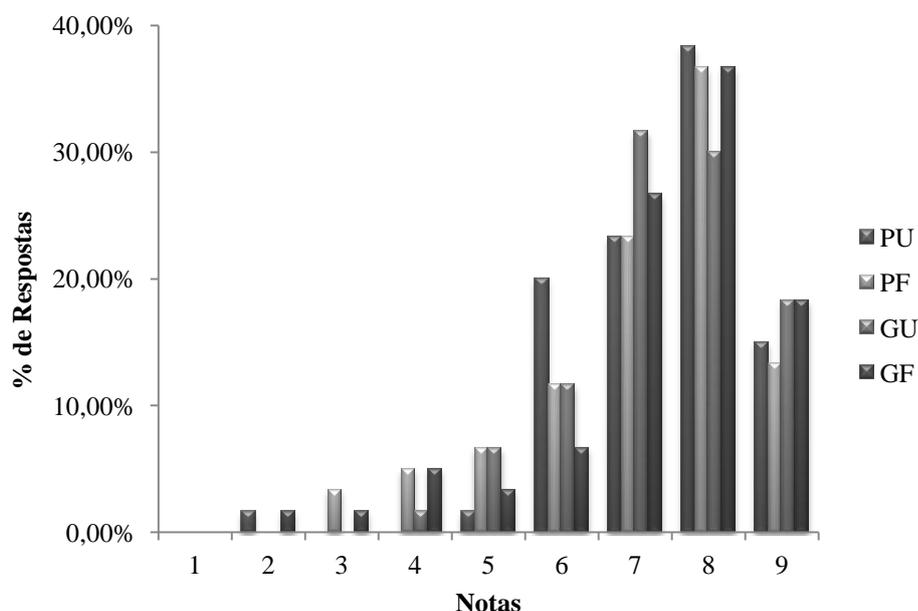


**Figura 5.32.** Histograma de frequência para o atributo de Aparência do guacamole.

*Descrição das notas: 1 - desgostei muitíssimo; 2 - desgostei muito; 3 - desgostei moderadamente; 4 - desgostei ligeiramente; 5 - nem gostei/nem desgostei; 6 - gostei ligeiramente; 7 - gostei moderadamente; 8 - gostei muito; 9 - gostei muitíssimo.*

Já a amostra PF foi a que obteve o menor percentual de aceitação (75%), enquanto as amostras GU e GF obtiveram 87% e 90% de aceitação do total de consumidores. Estes resultados mostram que a forma de processamento teve pouca influência sobre a aceitação da aparência nas amostras de guacamole, e que embora haja o escurecimento das amostras liofilizadas e reidratadas, este é um fator que parece não influenciar de forma significativa na aceitação das mesmas.

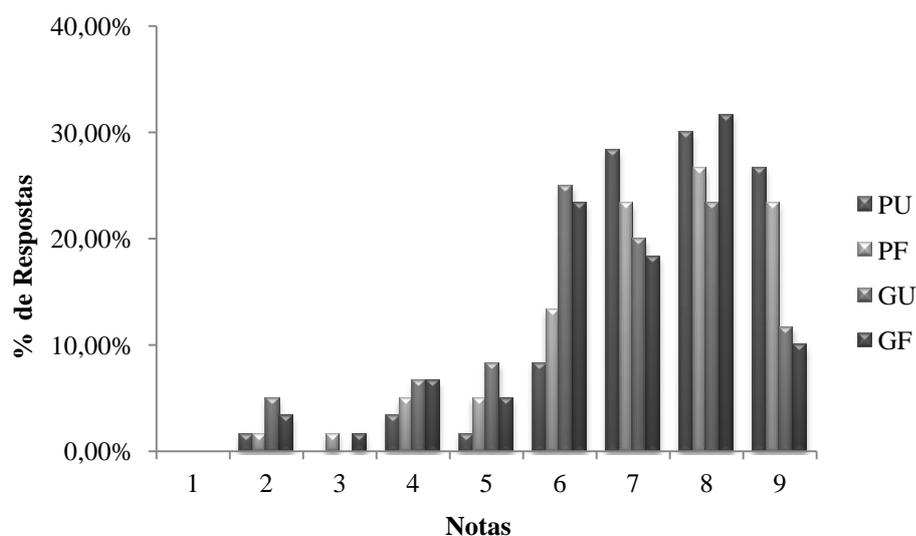
A textura de todas as amostras obteve grande aceitação entre os consumidores para todos os tratamentos avaliados, conforme se observa na Figura 5.33. Os percentuais de aceitação para as amostras foram em ordem decrescente 96,66%; 91,67%; 88,34% e 85% para PU, GU, GF e PF, respectivamente. Neste caso, o congelamento rápido demonstrou ter melhor influência sobre a textura sensorial do guacamole do que as amostras submetidas ao congelamento lento, efeito que não foi significativo ( $p \leq 0,05$ ) como visto na Tabela 5.15.



**Figura 5.33.** Histograma de frequência para o atributo da Textura do guacamole.

*Descrição das notas: 1 - desgostei muitíssimo; 2 - desgostei muito; 3 - desgostei moderadamente; 4 - desgostei ligeiramente; 5 - nem gostei/nem desgostei; 6 - gostei ligeiramente; 7 - gostei moderadamente; 8 - gostei muito; 9 - gostei muitíssimo.*

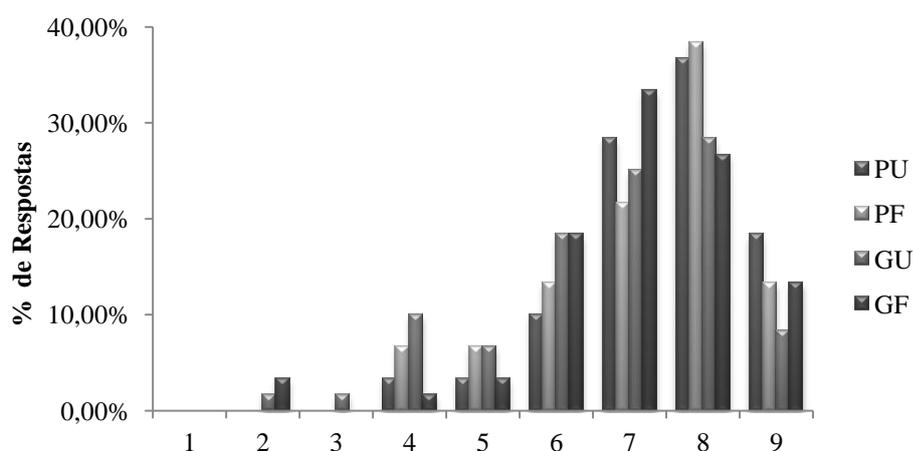
Analisando a Figura 5.34 vê-se que para o sabor, todas as amostras foram também muito bem aceitas pelos consumidores, pois 80% ou mais avaliaram positivamente as amostras. Para a amostra PU, 93,33% dos consumidores gostaram do sabor da amostra, dentre estes 57% avaliaram gostar muito e gostar muitíssimo, apenas 3,33% rejeitaram-na e 1,67% foram indiferente, demonstrando o quanto a amostra foi bem aceita pelos consumidores. Para as demais amostras o percentual de aceitação também foi muito bom, cerca de 87% (PF), 83% (GF) e 80% (GU). Conforme vimos, para as médias desses tratamentos não houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) e que o PF, por sua vez, não diferiu do PU.



**Figura 5.34.** Histograma de frequência para o atributo Sabor do guacamole.

*Descrição das notas: 1 - desgostei muitíssimo; 2 - desgostei muito; 3 - desgostei moderadamente; 4 - desgostei ligeiramente; 5 - nem gostei/nem desgostei; 6 - gostei ligeiramente; 7 - gostei moderadamente; 8 - gostei muito; 9 - gostei muitíssimo.*

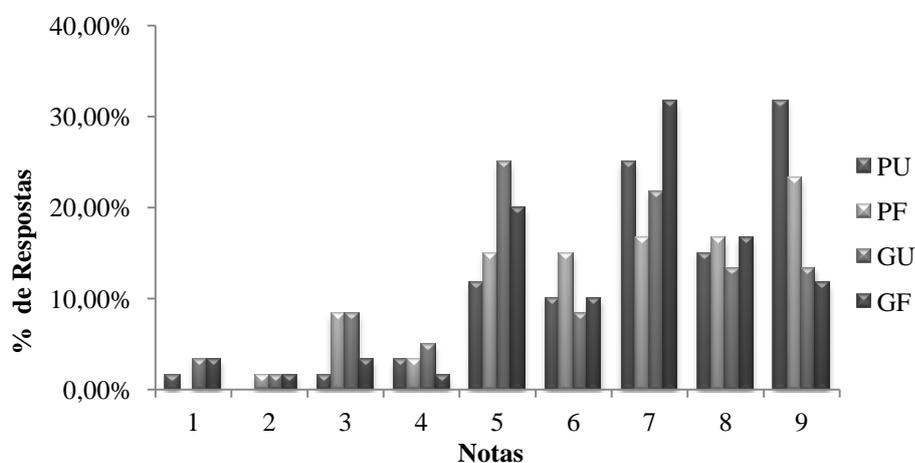
Para a avaliação global apresentado na Figura 5.35, a amostra com maior percentual de aceitação foi PU (93%), seguida por GF (92%), PF (87%) e GU (80%). Nota-se que para todas as amostras de guacamole, a aceitação global foi muito boa (maiores respostas em torno das notas 7 e 8), assim como para todos os atributos avaliados.



**Figura 5.35.** Histograma de notas para o atributo da Impressão Global do guacamole.

*Descrição das notas: 1 - desgostei muitíssimo; 2 - desgostei muito; 3 - desgostei moderadamente; 4 - desgostei ligeiramente; 5 - nem gostei/nem desgostei; 6 - gostei ligeiramente; 7 - gostei moderadamente; 8 - gostei muito; 9 - gostei muitíssimo.*

A Figura 5.36 apresenta os dados da frequência para Intenção de Compra do guacamole avaliada pelos consumidores. Observa-se que, aproximadamente, 82% dos consumidores declara que comprariam o guacamole (PU) com um grau de certeza igual ou superior a “possivelmente compraria”, para PF este percentual foi de 72%, 70% para GF e 57% para GU. Estes percentuais de intenção de compra refletem a boa aceitação de todas as amostras de guacamole avaliadas. Foi possível observar que embora as amostras tenham sido consideradas significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ) do guacamole *in natura*, elas tiveram boa aceitação pelos consumidores, bem como boa intenção de compra. Comparando-se a aceitação para as amostras com as diferenças entre as amostras do produto *in natura* ou que foram de alguma forma liofilizadas, vê-se que as amostras PU e PF, em que apenas a polpa foi liofilizada, tiveram um grau de diferença menor, bem como melhores aceitação e intenção de compra para os dois produtos. Assim, fica evidente que o fato dos ingredientes ainda frescos, adicionados às polpas reidratadas para formular o guacamole, foram decisivos para que os consumidores os considerassem melhores.



**Figura 5.36.** Histograma de frequência para a Intenção de compra do guacamole.

*Descrição de notas: 1 - certamente não compraria, 3 - possivelmente não compraria, 5 - talvez comprasse/talvez não comprasse, 7 - possivelmente compraria, 9 - certamente compraria.*

Estes resultados demonstram que existe um segmento de consumidores que gosta, e que possivelmente comprariam qualquer um destes produtos. No entanto, para o guacamole pronto liofilizado este número de prováveis consumidores pode ser maior,

para tanto o produto precisa ser melhor estudado, para que principalmente, conserve mais as características do produto *in natura*. Como precisa ser adicionado apenas água, é um produto que está aliado à praticidade, e que, portanto, desperta maior interesse dos consumidores pelo produto, desde que também agrade quanto aos aspectos sensoriais como os apresentados neste estudo.

De acordo com os resultados obtidos para o teste de aceitação, pode-se concluir que as amostras de guacamole elaboradas com a polpa liofilizada do abacate (PF e PU), independente do tipo de congelamento, tiveram as melhores respostas para todos os atributos sensoriais estudados. No entanto, as amostras de guacamole liofilizadas (GF e GU), também obtiveram boa aceitação pelos consumidores.

## 6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos para os frutos de abacate variedade Collinson e para os experimentos submetidos às condições de processo definidas, pode-se concluir que:

Os resultados de composição centesimal e características físico-químicas do abacate variedade Collinson mostraram seu potencial energético caracterizado pela sua alta composição em matéria graxa.

A velocidade de congelamento da polpa de abacate em forma de cubo congelados em ultrafreezer ( $-80^{\circ}\text{C}$ ) pode ser caracterizada como congelamento rápido, sendo muito superior à da amostra congelada em freezer ( $-26^{\circ}\text{C}$ ) que foi definida como congelamento lento. Os pequenos cristais do congelamento rápido reduziram alterações na estrutura da polpa, devido à formação de pequenos poros.

A formação de grandes cristais oriundos do congelamento lento promoveu taxas de secagem superiores às congeladas em ultrafreezer necessitando de um menor tempo de secagem. Com relação às pressões, a taxa de secagem obteve relação direta, mostrando que quanto menor a pressão do processo, menor o tempo requerido de liofilização.

O comportamento cinético da polpa de abacate mostra que o processo de liofilização apresenta complexidade, não apresentando período de taxa constante comumente observada em outros métodos de secagem.

As equações estudadas tais como a de Lewis, Page e Brooker, podem ser utilizadas para prever o comportamento da cinética de liofilização da polpa do abacate. No entanto, a equação de Page foi a que apresentou os melhores coeficientes de correlação.

A forma geométrica em que o produto foi liofilizado (disco, cubo e paralelepípedo) teve influência no tempo de reidratação, sendo que o cubo se apresentou como o tratamento mais eficiente para absorver umidade.

O tipo de congelamento também influenciou o processo de reidratação, mostrando que as amostras submetidas ao congelamento lento tiveram uma maior rapidez na secagem da polpa.

A equação de Weibull foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais de reidratação, porém o modelo de Peleg também se mostrou eficiente para descrever o processo de reidratação da polpa do abacate liofilizado.

Com relação aos parâmetros de cor, os ensaios mostraram que houve um aumento significativo para a luminosidade (L) das amostras submetidas ao congelamento lento. Quanto ao parâmetro  $a^*$  houve um aumento não significativo para as amostras, independente do tratamento aplicado, diferentemente dos resultados encontrados para o parâmetro  $b^*$ , que obteve um aumento significativo.

Os ensaios de textura mostraram que os tratamentos submetidos ao congelamento rápido ocasionaram menores danos à estrutura quando comparados com as amostras congeladas em freezer. As pressões revelam que houve relações inversas pouco significativas no que concerne à dureza das amostras, ou seja, quanto menor a pressão, maior o valor de dureza (N).

O abacate apresentou boas propriedades antioxidantes, principalmente sua fração lipofílica. O processamento afetou diretamente a atividade antioxidante da polpa do abacate. Os métodos ou tipo de ensaio utilizado para determinar a atividade antioxidante do abacate apresentaram distinções entre si com relação às respostas obtidas.

O método de secagem utilizado influenciou diretamente na composição de ácidos graxos da polpa do abacate variedade Collinson, indicando que a polpa liofilizada deteve a maior concentração de ácidos poliinsaturados quando comparadas com o óleo da polpa desidratada em secador convectivo (50°C).

No abacate foi verificada a presença de ácido gálico, clorogênico, p-cumárico e vanílico que conferem um potencial antioxidante ao fruto. Também se observou variações da concentração de ácidos fenólicos da polpa em função do processamento

O tratamento térmico e liofilização, a polpa do abacate influi em reduções significativas do conteúdo de compostos fenólicos totais o que pode reduzir o seu potencial antioxidante e efeito funcional.

A adição de ácido cítrico no guacamole provocou o aumento da acidez e redução do pH proporcional ao aumento da sua concentração na amostra, mas não teve um efeito positivo na redução do escurecimento, principalmente para o guacamole reidratado.

O perfil de textura revelou que a reidratação do guacamole ocasionou em reduções na de firmeza e gomosidade do produto em relação ao fresco.

Todos os tratamentos estudados para o guacamole envolvendo o processo de liofilização diferiram significativamente do produto *in natura* em relação à avaliação sensorial.

Apesar da diferença encontrada para os tratamentos (PF, PU, GF e GU) em relação ao produto controle, pode-se concluir que as amostras de guacamole liofilizadas apresentaram boa aceitação sensorial para todos os atributos estudados, criando a possibilidade de futura comercialização do produto.

De maneira geral, pode-se concluir que além do processo de secagem que tipicamente é reconhecido por alterar a estrutura de amostras com a transferência de massa, foi comprovado neste trabalho que o congelamento, etapa fundamental para a liofilização, exerce influência significativa na qualidade do produto reidratado. Por outro lado, as condições de pressão utilizadas não afetaram significativamente a qualidade da polpa de abacate variedade Collinson.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.O.A.C. **Official methods of analysis**. 15th Ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1990, 1117p.

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. **Especificações de cores de acordo com o sistema de notação**. Munsell – NBR 12694, Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Análise sensorial dos alimentos e bebidas**. Terminologia: NBR 12806. Rio de Janeiro. 8p. 1993.

ABREU, L. F.; ARAUJO, A. V. C.; ARAUJO, E. A. F.; EL-AOUAR, A. A.; NEUMANN, D.; MORAIS, M. M. ; SILVA, M. A. A. P. Perfil sensorial e aceitabilidade de amostras de água de coco obtidas por diferentes processos de fabricação. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 397-412, 2005.

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C.; Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.349-353, 1999.

AHMED, E. M.; BARMORE, C. R.; Avocado. In: Tropical e subtropical fruits. **The AVI Published Company, INC**. Westport, Connecticut. 1 ed, 121p, 1980.

ALMEIDA, C. Determinação da firmeza e cor do tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) visando o estabelecimento de correlações entre medidas sensoriais e físicas ao longo do tempo de maturação. 1995. 102p. **Dissertação de mestrado** (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas.

AMARANTE, C. V. T.; BISOGNIN, D. A.; STEFFENS, C. A.; ZANARDI, O. Z.; ALVES EO. Quantificação não destrutiva de clorofilas em folhas através de método colorimétrico. **Horticultura Brasileira**. 26: 471-475, 2008.

ALVES, C. C. de O.; RESENDE, J. V. de; CRUVINEL, R. S. R.; PRADO, M. E. T.; Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenóides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) liofilizada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** v.28, n.4, 2008.

ARAÚJO, J. M. A., Química de alimentos: teoria e prática, 2 ed., Viçosa – MG, Editora UFV, 416p. 1999.

ARCHBOLD, D. D. & POMPER, K. W. Ripening pawpaw fruit exhibit respiratory and ethylene climacterics. **Postharvest Biology and Technology**, v. 30, n. 1, p. 99 – 103, 2003.

ARNAO, M. B. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. **Trends in Food Science e Technology**. n.11, p. 419-421, 2000.

AROUMA, O. I.; KAUR, H.; HALLIWEL, B. *The journal of the Royal Soc. For the Promot. Of Health*, **1991**.

ARRUDA, E. B.; Comparação do desempenho do secador roto-fluidizado com o secador rotatório convencional: secagem de fertilizantes. 204f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. 2008.

ATARÉS, L.; CHRALT, C.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; Effect of the impregnated solute on air drying and rehydration of apple slices (cv. Granny Smith). **Journal of Food Engineering**, v.91, p.305–310, 2009.

AZONDANLOU, R.; DARBELLAY, C.; LUISIER, J.L.; VILLETZAZ, J.C., AMADÒ, R. Changes in flavour and texture during the ripening of strawberries. **European Food Research and Technology**, v. 218, n. 2, p. 167-172, 2004.

BABBIC, J.; CANTEJO, M. J; ARROQUI, C. The effects of freeze-drying process parameters on Broiler chicken breast meat. **Food Science and Technology**, v.42, p. 1325–1334, 2009.

BASTES, R. P.; The retardation of enzymatic browning in avocado puree and guacamole. **Proc. Fla. State Hort. Soc.** v.81, p.230-235, 1968.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, 239(1), 70–76. 1996.

BERTLING, I.; BOWER, J. P.; DENNISON, M. T. ¿Está el contenido en azúcares de los cultivares de aguacate relacionado con las características de calidad de su fruta?. In: WORLD AVOCADO CONGRESS, 5., 2003, Granada-Málaga. *Proceedings...* Granada-Málaga: Consejería de Agricultura y Pesca, p.88. 2003.

BERTLING, I.; TESFAY, S. Z.; BOWER, J. P.; Antioxidants in “Hass” avocado. **South African Avocado Growers Association Yearbook**. v.30, p.17-19, 2007.

BERTOLDI, M. C.; Atividade antioxidante *in vitro* da fração fenólica das oleorresinas e do óleo essencial de pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius* Raddi). Tese (*Magister Scientiae* em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa – UFV, 116f. 2006.

BHALE, S. D.; Effect of ohmic heating on color, rehydration and textural characteristics of fresh carrot cubes. Thesis (Master of Science in Biological and Agricultural Engineering. Mahatma Phule Agricultural University, India. 61f. 2004.

BLEINROTH, E. W.; CASTRO, J. V. de. **Matéria-prima**. In: ABACATE cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. Campinas: ITAL, p. 58-147, 1992.

BOLIVAR, I. O. Obtenção de óleo de abacate. **Tese de Mestrado** – UEC, Campinas, 1970.

BORGOGNONI, C. F. Otimização da liofilização do pericárpio bovino com auxílio de ferramentas matemáticas. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. São Paulo. 99 p. 2009.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C.; Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, 28(1), 25–30. 1995.

BROOKFIELD, 2011; Brookfield CT3. In.: Texture Analyzer. Operating Instructions, **Manual No. M/08-371A0708**. 47f. Disponível em: < <http://www.brookfieldengineering.com/download/files/CT3manual.pdf>> Acesso em: 30/11/2011.

BUERA, M.P.; LOZANO, R.D.; PETRIELLA, C.; Definition of colour in the non enzymatic browning process. **Die Farbe**. v.32, p.318-322. 1986.

CARLOS, L. de A.; RESENDE, J. V. de; CAL-VIDAL, J.; Redução de higroscopicidade de pós liofilizados pela indução da cristalização em soluções-modelo de açúcares constituintes de frutas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, n.2, p. 163-173, 2005.

CASTAÑÓN, X.; ARGAIZ, A.; LÓPEZ-MALO, A.; Effect of storage temperature on the microbial and color stability of banana purée with addition of vanillin or potassium sorbate. **Food Science and Technology International**. v.5, n.51, p.9, 1999.

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

CHANG, B.S.; FISCHER, N.L.; Development of an efficient single-step freeze-drying cycle for protein formulations. **Pharm. Res.** v.12, p.831–837, 1995.

CHAVES, J. B. P.; SPROESSER, R. L. Práticas de laboratório de análise sensorial de alimentos e bebidas. **Viçosa: Universidade Federal de Viçosa**, 81 p., 1993.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, E.B.; Fisiologia e pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras – MG. ESAL 1990).

COLLA, L. M.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Congelamento e descongelamento – sua influência sobre os alimentos. **Vetor**, v. 13, p. 53-66. 2003.

COSTA, M. C.; Conservação de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) por métodos combinados com emprego da tecnologia de obstáculos. 2002. 114f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE.

CRIZEL, G. R.; MOURA, R. S.; OLIVEIRA, I. R.; MENDONÇA, C. R. B.; Características físicas e químicas de abacates das variedades Quintal e Hass. **XVII Congresso de Iniciação Científica e X Encontro de Pós-Graduação**. Universidade Federal de Pelotas/UFPEL. Pelotas/RS. p.4. 2008.

CUVELIER, M. E.; RICHARD, H.; BERSET, C. Comparison of the antioxidative activity of some acid phenols: structure-activity relationship. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, Tokyo, v. 59, n. 2, p. 324-325, 1992.

DAIUTO, E. R.; TREMOCOLDI, M. A.; VIEITES, R. L.; Conservação pós colheita de abacate "Hass" irradiado. **Revista Iberoamericana de Tecnologia Postcosecha**, v.10, n.2, p. 94-100, 2010.

DELGADO, A. E. Determinación del comportamiento térmico y las características de los alimentos en La conservación por congelación, **Master Thesis**, UNL, Santa Fe, Argentina, 1997.

DELGADO, A. E.; RUBIOLO, A. C.; Microstructural changes in strawberry after freezing and thawing processes. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.** v.38, p.135-142, 2005.

DESOBRY, S. A.; NETTO, F. M.; LABUZA, T. P. Comparison of spray-drying, drum drying and freeze-drying for b-carotene encapsulation and preservation. **Journal Food Science**, v. 62 , n. 12, p. 1158 -1162, 1997.

DOROSHOW, J. H. Effect of anthracycline antibiotics on oxygen radical formation in rat heart. **Cancer Research**, Baltimore, v. 43, n. 2, p. 460-472, 1983.

DOSSAT, R. J. **Princípios de Refrigeração**. Hemus, Brasil: 1ª edição traduzida, 884p. 2004.

FAGUNDES, A. F.; AYUB, R. A. Caracterização físico-química de caquis cv. Fuyu submetidos à aplicação de agentes inibidores de escurecimento e armazenados a 0 °C. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 03, p. 403-408, 2005.

FELLOWS, P. Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y prácticas. Zaragoza (España): **Editorial Acribia**, S.A., 1994. p.549.

FENNEMA, O. R.; **Química de los Alimentos**. Editora ACRIBIA S.A. Zaragoza, Espanha, 2000. 27. ANJO, D. F. C. *J. Vasc. Br.* 3, 145-154. 2004.

FERREIRA, V. L. P.; ALMEIDA, T. C. A. de.; PETTINELLI, M. L. C. de V.; DA SILVA, M. A. A. P.; CHAVES, J. B. P.; BARBOSA, E. M. de M. **Análise sensorial: testes discriminativos e afetivos**. Campinas: SBCTA, 2000. 127p. (Manual: Série Qualidade).

FLINK, J. M. Properties of the freeze-drying 'scorch' temperature. **Journal of Food Science**, v.39, p.1244-1246, 1974.

FODA, Y. H.; HEGAZI, M.; SALEM, S.A. Changes occurring to certain chemical component in sun-dried sheets with relation to discoloration during storage. **Sudan J. of Food Science and Technology**, v.4, 1972.

FOOD AGRICULTURAL ORGANIZATION – FAO. **Statistical database. 2004.** Disponível em: <www.apps.fao.org> Acesso em: 5 de dez. 2007.

FORD, A. W.; DAWSON, P. J. Effect of type of container, storage temperature and humidity on the biological activity of freeze-dried alkaline phosphatase. **Biologicals**, v.22, p.191-197, 1994.

GARCÍA-PASCUAL, P.; SANJUAN N.; MELIS R.; MULET, A.; Morchella esculenta (morel) rehydration process modelling. **Journal of Food Engineering**. v.72, p.346–353, 2006.

GENNADIOS, A.; WELLER, C. L.; HANNA, M. A.; FRONING, G. W. Mechanical and barrier properties of egg albumen films. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 61, p.585-589, 1996.

GIESE, J. Fats, oils, and fat replaces. **Food Technology Especial Repot**, 1996.

GIMENO, O.; ANSOREMA, D.; ASTISARÁN, I.; BELLO, J. Characterization of Chorizo de Pamplona: Instrumental Measurements of Colour and Texture. **Food Chemistry**, v. 69, p. 195- 200, 2000.

GOMEZ, R. F.; BATES, R. P.; Storage deterioration of freeze-dried avocado puree and guacamole. **Journal of Food Science**. v.35, p.472-475, 1970.

GORINSTEIN, S.; HARUENKIT, R.; POOVARODOM, S.; VEARASILP, S.; RUAMSUKE, P.; NAMIESNIK, J.; LEONTOWICZ, M.; LEONTOWICZ, H.; SUHAJ, M.; SHENG, G. P.; Some analytical assays for the determination of bioactivity of exotic fruits. **Phytochem. Anal.**, n. 21, p. 355-362, 2010.

GUERRERO, S.; ALZAMORA, S.M.; GERSCHENSON, L.N. Optimization of a combined factors technology for preserving banana puree to minimize colour changes using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**. v.28, p.307-322. 1996.

GUINÉ, R. P. F.; BARROCA, M. J.; Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). **Food Bioproducts Processing**, n.90, p.58-63, 2012.

HAENEN, G. R. M. M.; ARTS, M. J. T. J.; BAST, A.; COLEMAN, M. D. Structure and activity in assessing antioxidant activity *in vitro* and *in vivo* a critical appraisal illustrated with the flavonoids. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, 2005.

HALLIWELL, B. & GUTTERIDGE, J. M. C. Free radicals in biology and medicine. 3 ed. Nova York, Oxford: Oxford University Press, **1999**.

HALLIWELL, B. et al. The characterization on antioxidants. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 33, n. 7, p. 601-617, 1995.

HARTMANN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practices**, 22:475-477. 1973.

HATTON, T. T. Jr., HARDING, P. L.; REEDER, W. F.; Seasonal changes in Florida avocados. U.S.D.A. **Tech. Bull.** v.1310, n.47, 1964.

HII, C. L.; LAW, C. L.; CLOKE, M. Modeling using a new thin layer drying model and product of cocoa. **Journal of Food Engineering**, v.90, p.191-198, 2009.

HOHMANN, C. L. & MENEGUIM, A. M.; A broca-do-abacate (*Stenomoma catenifer*) – aspectos biológicos, comportamento, danos e manejo. **Instituto Agrônômico do Paraná** – Londrina – PR. n° 147, 2005.

HOLANDA, A.; Biodiesel e Inclusão Social. Brasília, 2004.

HOLLMAN, P.C., KATAN, M.B. Bioavailability and health effects of dietary flavonoids in man. **Archives of Toxicology Supplement**, Berlin, v.20, p.237-248, 1998.

HOMMAMI, C; RENÉ, F.; Determination of freeze-drying process variables for strawberries. **Journal of Food Engineering**. v.32, p. 133-154, 1997.

HUANG, D.; OU, B.; HAMPSCH-WOODILL, M.; FLANAGAN, J.; DEEMER, E.; Development and validation of oxygen radical absorbance capacity assay for lipophilic

antioxidants using randomly methylated  $\beta$ -cyclodextrin as the solubility enhancer. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 50(7), 1815–1821. 2002.

HULME, A. C.; The biochemistry of fruits and their products. Academic Press London, vol. 1, 2 ed, 870 p, 1976, vol. 2, 1 ed, 788 p, 1971.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo: IMESP, 1020p., 2008.

IBRAF (INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS). **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.ibraf.org.br/x-es/f-esta.html>> Acesso em: 02/05/2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <[www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br)> Acesso em: 5 jan. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <[www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br)> Acesso em: 5 jan. 2008.

JESUS, M. M. S. de; CARNELOSSI, M. A. G.; SANTOS, S. F.; NARAIN, N.; CASTRO, A. A.; Inibição do escurecimento enzimático de quiabo minimamente processado. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, n. 4, p. 524-530, 2008. Fortaleza - CE.

JIE, W.; LITE, L.; YANG, D. The correlation between freezing point and soluble solids of fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 60, p. 481–484, 2003.

JUNIOR, V. T.; Etapas críticas na liofilização do pericárdio bovino. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. São Paulo. 106 p. 2008.

KAUR, C.; KAPOOR, H. C. Anti- oxidant activity and total phenolic- the millennium's health. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 36, n. 7, p. 703-725, 2001.

KESZLER, A.; KRISKA, T.; NÉMETH, A. Mechanism of Volatile Compound Production during Storage of Sunflower Oil. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 48,n.12, 2000.

KLUGE, R. A.; JACOMINO, A. P.; OJEDA, R. M.; BRACKMANN, A.; Inibição do amadurecimento de abacate com 1-metilciclopropeno. **Pesquisa Agropecuária do Brasil**. Brasília, v. 37, n. 7, p. 895-901, jul. 2002.

KOLLER, O. C. **Abacaticultura**. Porto Alegre: UFRGS,1992.138p.

KROKIDA, M. K. & MARINOS-KOURIS, D.; Reidratation kinetics of dehydrated products, **Journal of Food Engineerin**, v.57, p. 1-7, 2003.

KROLOW, A. C. L. Hortaliças em Conserva. **Embrapa Informação Tecnológica**. 48f. Brasília, DF. 2006.

KROKIDA, M. K.; MARINOS-KOURIS, D.; Rehydration kinetics of dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, n.57, p.1-7, 2003.

KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z.B.; Effect of drying method on shrinkage and porosity. **Drying Technology**. v.15, n.10, p.1145-1155, 1997.

LANNA, A. C.; JOSÉ, I. C.; OLIVEIRA, M. G. de A.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Effect of temperature on polyunsaturated fatty acid accumulation in soybean seeds. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.17, n.2, p.213-222, 2005.

LEE, J.; KOO, N.; MIN, D. Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 3(1), 21-33. 2004.

LEE, K. T.; FARID, M.; NGUANG, S. K.; The mathematical modelling of the rehydration characteristics of fruits. **Journal of Food Engineering**. v.72, p.16-23, 2006.

LEWICKI, P. P. Some remarks on rehydration of dried foods. **Journal of Food Engineering**, v. 36, p. 81-87, 1998.

LEWIS, W. K. "The Rate of Drying of Solids Materials", In: The Symposium on Drying, **The Journal of I. & E.** Ch. 13(5), pp 427-432, 1921.

LUPETTI, K. O.; CARVALHO, L. C. de; MOURA, A. F. de; FATIBELLO-FILHO, O. Análise de imagem em química analítica: empregando metodologias simples e didáticas para entender e prevenir o escurecimento de tecidos vegetais. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 548-554. 2005.

LU, Q-Y; ARTEAGA, J. R; ZHANG, Q.; HUERTA, S.; GO, V. L. W.; HEBER, D.; Inhibition of prostate cancer cell growth an avocado extract: role of lipid-soluble bioactive substances. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v.16, p.23–30, 2005.

MACHADO, M.; OLIVEIRA, F.A.R.; GEKAS, V.; SINGH, R.P., Kinetics of moisture uptake and soluble-solids loss by puffed breakfast cereals immersed in water. **Int Journal Food Science Technology**, 33(3): 225–237. 1998.

MAFART, P. Ingeniería industrial alimentaria: Procesos físicos de conservación. **Acribia** - Zaragoza, S.A., v. 1, 1994. 285p.

MALDONADO, S.; ARNAU, E.; BERTUZZI, M. A.; Effect of temperature and pretreatment on water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes. **Journal of Food Engineering**. v.96, p.333–341, 2010.

MANFUGÁS, J. E.; Evaluación sensorial de los alimentos. **Ciudad de La Habana**. Editorial Universitaria, 116p. 2007.

MARANCA, Fruticultura comercial. In: Manga e Abacate. São Paulo - SP, 6ª edição, Nobel, p. 89-91, 1992.

MARANCA, G. Fruticultura comercial Manga e Abacate. São Paulo: Nobel, p 81-133. 1980.

MARANCA, G. Fruticultura comercial. In: Manga e Abacate. São Paulo: Nobel, p 81-133. 1980.

MARANCA, G. **Fruticultura comercial. In: Manga e Abacate.** São Paulo - SP, 6ª edição, Nobel, p. 89-91, 1992.

MARKET RESEARCH ANALYST, 2008. **Avocado market forecast 2008-2010.** Massachusetts, USA. Disponível em: < <http://www.marketresearchanalyst.com/2008/01/14/avocado-market-forecast-2008-2012-production-exports-imports/>>.Acss:26/06/11.

MARQUES, L.G., **Liofilização de frutas tropicais**. 255f. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR. São Carlos/SP. 2008.

MARQUES, L. G.; PRADO, M. M.; FREIRE, J. T. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. **LWT-Food Science and Technology**, 42, 1232-1237, 2009.

MARTIN, Z. J. de, III – Processamento: produtos, características e utilização. In: **ABACATE – cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. Campinas: ITAL, 1992. p. 148.

MARTINS, P. C.; PINTO, L. A. de A.; Caracterização da secagem de cebola (*Allium cepa* L.) em camada delgada e da reidratação do produto desidratado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, n.2, p. 143-151, 2003.

MASKAN, M.; Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, v.48, p.177-182, 2001.

MASKAN, M.; Kinetics of color change of kiwi fruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, v.48, p.169–175, 2001.

MASSAFERA, G.; COSTA, T. M. B.; OLIVEIRA, J. E. D.; Composição de ácidos graxos do óleo do mesocarpo e da semente de cultivares de abacate (*Persea americana*, Mill.) da região de Ribeirão Preto, SP. **Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 2, p. 325-331, 2010.

MATTILA, P.; & KUMPULAINEN, J. J.; Determination of free and total phenolic acids in plant derived foods by HPLC and diode array detection. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n.48, p. 3660–3667, 2002.

McGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, Alexandria, v. 27, p. 1254-1255, 1992.

MEDA, L.; RATTI, C.; Rehydration of freeze-dried strawberries at varying temperatures, **Journal of Food Process Engineering**, v.28, p.233-246, 2005.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. Sensory Evaluation Techniques. **CRC Press, Oca Raton**, p.281,1999.

MONTENEGRO, H. W. S. **A cultura do abacateiro**. São Paulo: Melhoramentos, 1951. 102p. (Criação e Lavoura, n.11).

MOURE, A.; CRUZ, J. M.; FRANCO, D.; DOMINGUEZ, J. M.; SINEIRO, J.; DOMINGUEZ, H.; NUNEZ, M. J.; PARAJO, J. C.; Natural antioxidants from residual sources. **Food Chemistry**, v.72, p.145-171, 2001.

OZDEMIR, F.; TOPUZ, A.; Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. **Food Chemistry**, v.86, p.79–83, 2004.

NUNEZ, I. L.; MERCADANTE, A. Z. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2004.

O'BRIEN, B. J.; HARLEY, B. A.; YANNAS, I. V.; GIBSON, L. J.; Influence of freezing rate on pore structure in freeze-dried collagen-GAG scaffolds. **Biomaterials**, v.25, n.6, p.1077-86. 2004.

OETJEN, G. W.; HASELEY, P. Freeze-drying. 2. Ed. **Weinheim: Wiley-VCH**, 2004. 395p.

OETTELER, M.; BISMARA, M. A. R.; SPOTO, M. H. F., **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Barueri: Manole, 2006. p 566.

OLIVEIRA, A. L. de; BRUNINI, M. A.; VISICATO, M. L.; SIQUEIRA, A. M. F. de; VARANDA, D. B.; Atributos físicos em abacates (*Persea americana* L.) provenientes da região de Ribeirão Preto – SP. **Revista Nucleus**, v.1, n.1, p. 259-266, 2003.

OLIVEIRA, A. P. V.; FRASSON, K.; YAMASHITA, F.; BENASSI, M T. Medida Instrumental de cor em sobremesas lácteas de chocolate: uma técnica de baixo custo e versátil utilizando câmera digital, **Brazilian Journal of Food Technology**, 6(2), PP. 191-196, 2003.

OLIVEIRA, I. R.; CRIZEL, G. R.; RICHTER, W; SILVA, D. T.; SANTOS, M. A. Z. dos; MENDONÇA, C. R. B.; Análise de componentes energéticos de caroço e polpa de abacates da variedade fortuna. **XVIII Congresso de Iniciação Científica. XI Encontro de Pós-Graduação**. UFPel-RS. Pelotas/RS. 2009.

PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; WELTI-CHANES, J.; SWANSON, B. G.; Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. **Journal of food science**. v. 64, n. 1, 1999.

PARK, K. J.; ANTONIO, G.C.; OLIVEIRA, R.; PARK, K J. B. **Conceitos de Processo e Equipamentos de Secagem**. Campinas: UNICAMP, 2007. Disponível em: <[http://www.feagri.unicamp.br/ctea/manuais/concproceqsec\\_07.pdf](http://www.feagri.unicamp.br/ctea/manuais/concproceqsec_07.pdf)>. Acessado em: 04/12/2011 às 21:41.

PELEG, M., An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, 53(4): 1216–1219. 1988.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; ARRANZ, S.; TABERNERO, M.; DÍAZ-RUBIO, M. E.; SERRANO, J.; GOÑI, I.; Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. **Food Research International**, v.41, n.3, p.274–285, 2008.

PITOMBO, R. M. N. A liofilização como técnica de conservação de material de pesquisa. In: **SBPC Ciência e Cultura**, p. 427-431, 1989.

PITOMBO, R. N. M. Comportamento higroscópico do suco de laranja liofilizado. **Tese de Doutorado**, Universidade de São Paulo/USP. p.137, 1990.

PITOMBO, R. N. M. Effect of moisture content on the invertase activity of freeze-dried *S.cerevisiae*. **Cryobiology**, v. 31, n. 4, p. 383-392, 1994.

PITOMBO, R. N. M. Suco de laranja liofilizado: influência da atividade de água e temperatura sobre o teor de vitamina C. **Farmácia & Química**, v.32, n.4, p.45-47, 1999.

PITOMBO, R. N. M.; LIMA, G. A. M. R. Nuclear magnetic resonance and water activity in measuring the water mobility in Pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) fish. **Journal of Food Engineering**, v.58, p.59-66, 2003.

PITOMBO, R. N. M.; SPRING, C.; PASSOS, R. F.; TONATO, M.; VITOLO, M. Effect of moisture content on the invertase activity of freeze-dried *S. cerevesae*, **Cryobiology**, v.31, p.383-392, 1994.

PONTES, S. F. O.; BONOMO, R. C. F.; PONTES, L. V.; RIBEIRO, A. da C.; CARNEIRO, J. C. S.; Secagem e avaliação sensorial de banana da terra. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.2, p.143-148, 2007

POOVARODOM, S.; HARUENKIT, R.; VEARASILP, S.; NAMIESNIK, J.; CVIKROVÁ, M.; MARINCOVÁ, O.; EZRA, A.; SUHAJ, M.; RUAMSUKE, P.; GORISTEIN, S.; Comparative characterization of durian, mango and avocado. **International Journal of Food Science and Technology**, v.45, p.921-929, 2010.

PORTO, P. S. S.; Cinética da secagem de cebola (*Allium cepa* L.) em camada delgada. 2001. 103 p. **Dissertação de Mestrado** – Fundação Universidade do Rio Grande. Rio Grande – RS. 2001.

PRAKASH, A. Antioxidant Activity. *Analytical Progress Press Medallion Lab*. V. 19, n 2, **2001**. Disponível em [www.medallionlabs.com](http://www.medallionlabs.com), Acesso em 26/04/2010.

RESENDE, J. V.; CAL-VIDAL, J.; Frutos de melão submetidos a pré-tratamentos com hidrocolóides: efeitos do processo de congelamento sobre a microestrutura celular. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.3, p.295-304, 2002.

RHIM, J. W.; KOH, S.; KIM, J. M.. Effect of freezing temperature on rehydration and water vapor adsorption characteristics of freeze-dried Rice porridge. **Journal of Food Engineering**, v.104, p.484-491, 2011.

RIBEIRO, E.P.; SERAVALLI, E.A.G. Química de Alimentos. **Editora Edgard Blucher**. Instituto Mauá de Tecnologia, São Paulo, 184p., 2004,

RINFRET, A. P. Biochemical aspects of damage in freezing and freeze-drying of biological materials. **In: Freeze-drying of foods**. National Academy of Sciences – National Research Council. p.43, 1962.

RODRIGUES, A.C.C.; CUNHA, R.L.; HUBINGER, M.D. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 2-3, p. 129-135, 2003.

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, 2004.

ROSS, K. A.; BETA, T.; ARNTFIELD, S. D.; A comparative study on the phenolic acids identified and quantified in dry beans using HPLC as affected by different extraction and hydrolysis methods. **Food Chemistry**, n. 113, p. 336–344, 2009.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS**. Fortaleza, Embrapa Agroindústria Tropical, 4p, 2007. (Comunicado Técnico on-line: 128).

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D.; MANCINI-FILHO, J.; Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v.121, p.996–1002, 2010.

RYALL, A. L. & LIPTON, W. J. Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. Westport. **The AVI Publishing Company**, Inc, vol. 1, 473 p, 1972, vol 2, 545 p, 1974.

SACILIK, K.; ELICIN, A.K.; The thin layer drying characteristics of organic apple slices. **Journal of Food Engineering**. v.73, n.3, p.281–289, 2006.

SANCHES, J.; DURIGAN, J. F.; DURIGAN, M. F. B.; Aplicação de danos mecânicos em abacates e seus efeitos na qualidade dos frutos. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.164-175, 2008.

SANJUÁN, N.; SIMAL, S.; BON, J.; MULET, A., Modeling of broccoli stems rehydration process. **Journal of Food Engineering**, 42(1): 27–31. 1999.

SANTANA, M. de F. S. de,; GASPARETTO, C. A.; Microestrutura da fibra alimentar do albedo de laranja: um estudo por técnicas físicas e análise de imagens. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, n.1, p.124-134, 2009.

SANTOS, J. C.; Estudo do processo de liofilização da polpa da graviola (*Annona muricata* L.) e avaliação da qualidade nutricional e sensorial do produto. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Sergipe. 2011.

SATO, A. C. K.; CUNHA, R. L. da; Avaliação da Cor, Textura e Transparência de Massa Durante o Processamento de Goiabas em Calda. **Braz. J. Food Technol.**, v.8, n.2, p. 149-156, 2005.

SCHEBOR, C.; BUERA, M. Del P.; KAREL, M.; CHIRIFE, J.; Color formation due to non-enzymatic browning in amorphous, glassy, anhydrous, model systems. **Food Chemistry**, v.65, p.427-432, 1999.

SCHWEGMAN, J. J.; Understanding the physical properties of freeze-dried materials. **Innovations in Pharmaceutical Technology**, p.72, 2009.

SHIVASHANKARA, K.; ISOBE, S.; AL-HAQ, M.; TAKENAKA, M.; SHIINA, T. Fruit antioxidant activity, ascorbic acid, total phenol, quercetin, and carotene of Irwin mango fruits stored at low temperature after high electric field pretreatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 52(5), 1281–1286. 2004.

SIES, H.; STAHL, W. Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids as antioxidants. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 62, n. 6, p. 13155-13215, 1995.

SILVEIRA, N. S. S. da; MICHEREFF, S. J.; SILVA, I. L. do S. S. da; OLIVEIRA, S. M. A. de; Doenças fúngicas pós-colheita em frutas tropicais: patogênese e controle. **CAATINGA**, Mossoró, v.18, n.4, p.283-299, out./dez. 2005.

SIMÃO, S. Manual de fruticultura. **Editora Agronômica “Ceres” Ltda**, São Paulo, 530 p, 1971.

SIMPSON, J. A.; **Antioxidant Properties of peanut plant leaves and roots and contribution of specific phenolic compounds to antioxidant capacity**. 80p. Thesis (Degree of master os science in food science) – North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA. **2006**.

SIMPSON, J. A.; **Antioxidant Properties of peanut plant leaves and roots and contribution of specific phenolic compounds to antioxidant capacity**. 80p. Thesis (Degree of master os science in food science) – North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA. **2006**.

SINGH G.D.; SHARMA R.; BAWA A.S. SAXENA D.C.; Drying and rehydration characteristics of water chestnut (*Trapa natans*) as a function of drying air temperature. **Journal of Food Engineering**, v.87, p.213-221, 2008.

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

SOARES JÚNIOR, A. M.; MAIA, A. B. R. de A.; NELSON, D. L.; Estudo do efeito de algumas variáveis de fabricação no perfil texturométrico do doce de manga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.23, n.1, p.73-80, 2003.

SOLER, M. P. Fisiologia e maturação pós-colheita de abacate cvs. Fortuna e Collinson. 109f. 1978. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

SOUSA, M. B. de; PEDROZA, J. de P.; BELTRÃO, N. E. de M.; SEVERINO, L. S.; DANTAS, F. P.; Cinética de secagem do farelo de mamona. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.2, p.135-146, 2006

SOUZA, D. S.; PIMENTEL, J. D. R.; MARQUES, L. G.; NARAIN, N.; Estudo da cinética de reidratação da polpa do abacate liofilizado. **Revista Scientia Plena**, v.7, n.6, p.1-6, 2011.

SOUZA, D. S.; PIMENTEL, J. D. R.; PRADO, M. M.; MARQUES, L. G.; NARAIN, N. Rehydration characteristics of freeze-dried avocado (*Persea americana*). **11<sup>th</sup> International Congress on Engineering and Food**, 6 p. Athenas, 2011.

STEFFE, J.R., SINGH, R.P., 1980. Note of volumetric reduction of short grain rice during drying. **Cereal Chemistry** 57, 148–150.

STOLLE-SMITHS, T; BEEKHUIZEN, J.G., VORANGEN, A.G.J.; VAN DIJK, C. Preheating effects on the textural strength of canned green beans. 1. Cell wall chemistry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 11, p. 5.269-5.277, 2000.

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

TANGO, J. S.; TURATTI, J. M. Óleo de abacate. In: ABACATE – cultura, matéria-prima, **processamento e aspectos econômicos**. Campinas: ITAL, 1992. p. 156-192.

TEIXEIRA, C. G. Cultura. In: ABACATE – cultura, matéria-prima, processamento e aspectos **econômicos**. Campinas: ITAL, 1992. p. 1.

TODA FRUTA – Frutos climatéricos e não climatéricos, editado em 16/01/2004. Fonte CEAGESP. Disponível em: <  
<http://www.todafruta.com.br/portal/icNoticiaAberta.asp?idNoticia=1255>. Acesso em: 30/11/2010.

TORREZAN, R.; JARDINE, J. G.; VITALI, A. de A.; Efeito da adição de solutos e ácidos em poupa de goiaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.19, n.1. Campinas – SP. 1999.

TREMOCOLDE, M. A. Atividade antioxidante, compostos fenólicos totais e cor em abacate “Hass” submetido a diferentes tratamentos físicos. 2011. 115f. Dissertação (Mestrado em agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP – Botucatu/SP.

VASQUES, A. R.; BERTOLI, S. L.; CURTO-VALLE, R. de C. S.; VALLE, J. A. B.; Avaliação sensorial e determinação de vida-de-prateleira de maçãs desidratadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n. 4, p.759-765, 2006.

VILAS BOAS, E. V. de B., ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C., MENEZES, J. B. Características da fruta. In: MATSUURA, F. C. A .U., FOLEGATTI, I. S. **Banana: Pós-colheita**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001, p.15-19.

VILLA-RODRÍGUEZ, J. A.; MOLINA-CORRAL, F. J.; AYALA-ZAVALA, J. F.; OLIVAS, G. I.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of “Hass” avocado. **Food Research International**. V.44. p. 1231-1237. 2011.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2. p. 387- 394, 2008.

WANG, W. Lyophilization and development of solid protein pharmaceuticals. **Int. J. Pharm.**, v203, p.1-60, 2000.

WANG, W.; BOSTIC, T. R.; GU, L.; Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. **Food Chemistry**. v.122, p.1193–1198, 2010.

WILCOX, J. R.; CAVINS, J. F.; Normal and low linolenic acid soybean strains: response to planting date. **Crop. Science**. v.32, p. 1248-1251. 1992.

WWW.SPORE.CTA.INT; Abacate: Saúde e Beleza. **Revista Esporo**, nº 98. Agosto-Setembro 2010, p.20-28. Disponível em: < <http://spore.cta.int> >. Acesso em: 09 de novembro de 2010.

ZHANG, Z.; YANG, S.; LIU, D. Mechanism and Mathematical Model of Heat and Mass Transfer During Convective Drying of Porous Materials. **Heat Transfer – Asian Research**, v.28, n.5, p. 337-351, 1999.

## 8. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Determinar por planejamento experimental qual agente antioxidante exerce influência positiva na manutenção da qualidade do guacamole liofilizado;
- Avaliar por planejamento experimental rotacional qual concentração destes agentes é favorável para se preservar a qualidade do produto por mais tempo;
- Avaliar a manutenção da qualidade pelo comportamento *shelf life* do produto em embalagem hermeticamente fechada;
- Avaliar a composição centesimal do produto depois de estabelecido as concentrações de agentes antioxidantes.
- Avaliar a influência da liofilização sobre a estabilidade de carotenóides da polpa do abacate;