

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Influência do congelamento do suco e do fruto da laranja (*Citrus sinensis*) nas propriedades físico-química dos pós de suco obtidos por *spray dryer*

PRISCYLLA VENTURA DE SENA DANTAS

JOÃO PESSOA – PB

MAIO/2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Influência do congelamento do suco e do fruto da laranja (*Citrus sinensis*) nas propriedades físico-química dos pós de suco obtidos por *spray dryer*

PRISCYLLA VENTURA DE SENA DANTAS

Trabalho apresentado ao curso de graduação de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento as exigências para conclusão de curso.
Orientador: Prof^ª Veruscka Araújo Silva
Co-orientador: Heber Sivini Ferreira

JOÃO PESSOA – PB

MAIO/2018

D235i Dantas, Priscylla Ventura de Sena

Influência do congelamento do suco e do fruto da laranja (*Citrus sinensis*) nas propriedades físico-química dos pós de suco obtidos por *spray dryer*./ Priscylla Ventura de Sena Dantas. – João Pessoa, 2018.

88f. il.:

Orientador: Prof^a Dra. Veruscka Araújo Silva.

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Química) Campus I
- UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Laranja. 2. Conservação. 3. Congelamento. 4. Spray Dryer. I. Título

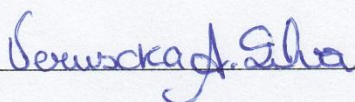
BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed.664.6(043.2)

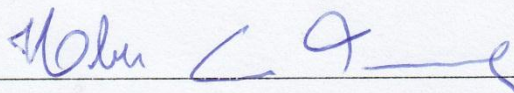
PRISCYLLA VENTURA DE SENA DANTAS

Influência do congelamento do suco e do fruto da laranja (*Citrus sinensis*) nas propriedades físico-química dos pós de suco obtidos por *spray dryer*

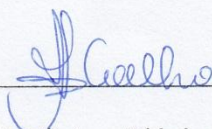
Data: 04 / Maio / 2018



Profª Veruscka Araújo Silva



Prof Heber Sivini Ferreira



Profª Ana Flávia Santos Coelho



Profª Sharline Florentino de Melo Santos

AGRADECIMENTOS

Quero começar agradecendo a Deus por todas as oportunidades que Ele me permitiu, bem como todo seu consolo e presença em todos os momentos da minha vida.

Em seguida, quero agradecer a minha rainha, minha base, meu alicerce, a minha melhor amiga, a minha mãe, Luciana. Sem ela com certeza eu não teria chegado até aqui. Sou muito grata por todo esforço e dedicação dela para que eu tivesse oportunidade de estudo. E por me apoiar nas minhas escolhas, bem como acreditar no meu potencial mais do que eu mesma poderia acreditar.

Quero agradecer ao meu esposo, Bervan, por todo carinho e paciência com meu estresse diário. E por me dar forças para seguir em frente, me aconselhado para ser determinada e guerreira.

Sou grata também aos meus avós, Maria de Jesus e Mozart, por todas as vezes que me ajudaram financeiramente quando precisei, bem como me dando força para seguir.

Quero ressaltar também um agradecimento a minha irmã Mariana e minha prima Rossana, pelas vezes que ambas ficaram com meu filho, Murilo, quando precisei para terminar o curso.

Agradeço a minha orientadora, Veruscka e meu co-orientador, Heber, por todo entusiasmo, paciência, dedicação, e apoio para que eu conseguisse concluir o TCC.

E agradeço também a toda minha família e amigos que me apoiaram e entenderem um pouco a minha ausência nesses últimos meses.

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores de frutas cítricas, com grande destaque na produção de laranja, apresentando 70% do total dos frutos destinados para a produção de suco. No suco de fruta a vida de prateleira é limitada e para prolongá-la são empregados processos de conservação. Os métodos empregados para a conservação dos alimentos têm por objetivo evitar as alterações indesejáveis, seja ela de origem microbiana, enzimática, física ou química. Nesse contexto o presente trabalho buscou a conservação pelo congelamento em *freezer* por 30 dias da laranja à -18°C, bem como do suco da fruta, seguido da desidratação por *spray dryer*, a uma temperatura de entrada de 150°C, tendo como agente carreador maltodextrina 20DE, a uma concentração de 15%. As análises realizadas nos produtos em pó do suco de laranja congelado e suco de laranja da fruta congelada foi teor de ácido ascórbico (vitamina C), análise granulométrica, ângulo de escoamento, atividade de água, densidade aerada, densidade compactada, densidade de partícula, fluxabilidade e coesão, isoterma, molhabilidade, pH, sólidos solúveis (°Brix), rendimento, solubilidade e umidade. Essas análises também foram realizadas no suco de laranja *in natura* em pó, seco nas mesmas condições para comparação. O processo de congelamento do suco e da fruta seguidos de desidratação mostrou-se viável, apresentando rendimento de 79,6% e de 69,4%, respectivamente. Comparando-se o produto em pó obtido do suco congelado e da fruta congelada, com o produto em pó do suco *in natura*, pode-se dizer que houve conservação da maioria das características físico-químicas, o que é bom para o processo, já que se busca a conservação das características após o congelamento.

Palavra-chave: laranja, conservação, congelamento, *spray dryer*

ABSTRACT

Brazil is one of the largest producers of citrus fruits, with a great prominence in the production of orange, presenting 70% of the total fruit destined for the production of juice. In fruit juice the shelf life is limited and to prolong it are used conservation processes. The methods used for food preservation are aimed at avoiding undesirable changes, whether of microbial, enzymatic, physical or chemical origin. In this context, the present work sought the preservation by 30-day freezer freezing of the orange at -18°C , as well as fruit juice, followed by dehydration by spray dryer, at an inlet temperature of 150°C , having carrier 20DE maltodextrin, at a concentration of 15%. The analysis of frozen products of frozen orange juice and orange juice of frozen fruit was ascorbic acid content (vitamin C), grain size analysis, flow angle, water activity, aerated density, compacted density, particle density, fluxability and cohesion, isotherm, wettability, pH, soluble solids ($^{\circ}\text{Brix}$), yield, solubility and humidity. These analyzes were also carried out in fresh orange juice powder, dried under the same conditions for comparison. The freezing process of juice and fruit followed by dehydration proved viable, yielding 79.6% and 69.4%, respectively. Comparing the powdered product obtained from frozen juice and frozen fruit with the powdered product of the juice in natura, it can be said that most of the physico-chemical characteristics were conserved, which is good for the process, since which seeks to preserve the characteristics after freezing.

Keyword: orange, conservation, freezing, spray dryer

Lista de figuras

Figura 1- Estrutura interna da laranja.....	17
Figura 2- Esquema do principio da torre de secagem ‘simplest estágio’.....	28
Figura 3- Estrutura molecular da maltodextrina.....	32
Figura 4- Método de formação do monte cônico.....	36
Figura 5- Preparo do suco de laranja.....	47
Figura 6- Diluição da maltodextrina em agitador.....	48
Figura 7- Secagem em secador.....	49
Figura 8- Método para análise do ângulo de escoamento.....	52
Figura 9- Análise da molhabilidade.....	55
Figura 10- Gráficos da análise granulométrica	59
Figura 11- Gráficos das isotermas.....	66

Lista de tabelas

Tabela 1 – Composição de suco integral de laranja.....	18
Tabela 2 – Composição química aproximada de suco de laranja.....	18
Tabela 3 – Termos utilizados para classificar qualitativamente os sólidos quanto ao tamanho.....	35
Tabela 4 - Classificação da escoabilidade segundo o ângulo de repouso.....	36
Tabela 5 - Escoabilidade de pó segundo a razão de Hausner.....	40
Tabela 6 - Fluxabilidade do pó segundo o índice de Carr.....	40
Tabela 7 - Condições operacionais da secagem.....	48
Tabela 8 – Teor de ácido ascórbico para o suco <i>in natura</i> , suco congelado e suco da fruta congelada com e sem maltodextrina	58
Tabela 9 – Teor de ácido ascórbico para o suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó com o teor de sólidos totais restituído.....	59
Tabela 10 – Tamanho dos ângulos para o suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.....	61
Tabela 11 – Valores da atividade de água para o suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.....	61
Tabela 12 – Valores da densidade aerada para o suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.....	62
Tabela 13 – Dados obtidos da densidade compactada para o suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.....	63
Tabela 14 – Dados obtidos da densidade de partícula para o suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.....	64
Tabela 15 – Valores da fluxabilidade em termos de IC do suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.....	64
Tabela 16 – Valores da coesão em termos do HR do suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.....	65
Tabela 17 - Valores do ganho de massa obtido experimentalmente e estimado pelo modelo para as amostras de suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.....	68
Tabela 18 – Valores da molhabilidade para o suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.....	68

Tabela 19 – pH do suco <i>in natura</i> , suco congelado e suco da fruta congelada com e sem maltodextrina.....	69
Tabela 20 – pH do suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó, com o teor de sólidos totais restituídos.....	70
Tabela 21 – Rendimento obtido para o suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.....	71
Tabela 22 - °Brix do suco <i>in natura</i> , suco congelado e suco da fruta congelada com e sem maltodextrina.....	71
Tabela 23 - °Brix do suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó, com o teor de sólidos totais restituídos.....	72
Tabela 24 – Solubilidade obtida para o suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.....	73
Tabela 25 – Umidade para o suco <i>in natura</i> em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.....	73
Tabela 26 – Valores do t para o suco <i>in natura</i> sem maltodextrina.....	85
Tabela 27 – Valores do t para o suco <i>in natura</i> acrescido de maltodextrina.....	85
Tabela 28 – Valores do t para o suco <i>in natura</i> com o teor de sólidos totais restituídos.....	85
Tabela 29 – Valores do t para o suco <i>in natura</i> em pó.....	85
Tabela 30 – Valores do t para o suco congelado sem maltodextrina	85
Tabela 31 – Valores do t para o suco congelado acrescido de maltodextrina.....	86
Tabela 32 – Valores do t para o suco congelado com o teor de sólidos totais restituídos.....	86
Tabela 33 – Valores do t para o suco congelado em pó.....	86
Tabela 34 – Valores do t para o suco da fruta congelada sem maltodextrina.....	86
Tabela 35 – Valores do t para o suco da fruta congelada acrescido de maltodextrina.....	86
Tabela 36 – Valores do t para o suco da fruta congelada com o teor de sólidos totais restituídos.....	86
Tabela 37 – Valores do t para o suco da fruta congelada em pó.....	87

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivo específico.....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1 Laranja.....	17
3.2 Suco da laranja <i>in natura</i>	18
3.3 Conservação alimentícia.....	19
3.4 Alternativa de conservação: congelamento do suco e frutas.....	20
3.5 Microestrutura dos cristais de gelo.....	23
3.6 Secagem.....	25
3.6.1 Secagem por <i>spray dryer</i>	27
3.6.2 Vantagens da secagem por <i>spray dryer</i>	29
3.6.3 Dificuldades na secagem do suco de frutas.....	30
3.6.4 Agente carreador.....	31
3.6.5 Maltodextrina.....	32
3.7 Características físico-químicas.....	33
3.7.1 Ácido ascórbico (vitamina C).....	33
3.7.2 Análise granulométrica.....	35
3.7.3 Ângulo de repouso.....	36
3.7.4 Atividade de água.....	37
3.7.5 Densidade aerada.....	38
3.7.6 Densidade compactada.....	38
3.7.7 Densidade de partícula.....	39
3.7.8 Fluxabilidade e coesão.....	40
3.7.9 Isoterma.....	41
3.7.10 Molhabilidade.....	42
3.7.11 pH.....	43
3.7.12 Sólidos solúveis (Brix).....	44
3.7.13 Solubilidade.....	44
3.7.14 Teor de sólidos totais.....	45
3.7.15 Umidade.....	45
4. METODOLOGIA.....	47
4.1 Materiais.....	47

4.2 Preparo da amostra.....	47
4.3 Secagem em <i>spray dryer</i>	48
4.4 Características físico-químicas do suco	49
4.4.1 Ácido ascórbico (vitamina C)	50
4.4.2 Análise granulométrica	51
4.4.3 Ângulo de escoamento	51
4.4.4 Atividade de água.....	52
4.4.5 Densidade aerada	52
4.4.6 Densidade compactada.....	53
4.4.7 Densidade de partícula	53
4.4.8 Fluxabilidade e coesão	54
4.4.9 Isoterma.....	54
4.4.10 Molhabilidade	55
4.4.11 pH.....	55
4.4.12 Rendimento	55
4.4.13 Sólidos solúveis (Brix)	56
4.4.14 Solubilidade	56
4.4.15 Teor de sólidos totais	57
4.4.16 Umidade	57
5. RESULTADOS E DISCURSSÕES	58
5.1 Ácido ascórbico (vitamina C)	58
5.2 Análise granulométrica	59
5.3 Ângulo de escoamento	60
5.4 Atividade de água.....	61
5.5 Densidade aerada	62
5.6 Densidade compactada.....	63
5.7 Densidade de partícula	63
5.8 Fluxabilidade e coesão	64
5.9 Isoterma.....	66
5.10 Molhabilidade	68
5.11 pH	69
5.12 Rendimento	70
5.13 Sólidos solúveis (Brix)	71
5.14 Solubilidade	72

5.15 Umidade	73
6. CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS	76
APÊNDICE A	85

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de frutas cítricas, com grande destaque na produção de laranja. O país é o maior produtor de laranja no mundo com produção estimada de 16,2 milhões de toneladas em 2013, sendo que 70% do total dos frutos produzidos são destinados para a produção de suco, com 85% do suco consumido sendo de origem brasileira (SILVA, 2013). O aumento no consumo de sucos de fruta industrializados tem sido relacionado à conveniência, à busca por um estilo de vida saudável e ao emprego de produtos que vão além de apenas saciar a sede, atendendo à demanda por bebidas refrescantes que agregam vantagens nutricionais (TEIXEIRA e MONTEIRO, 2006).

No suco de fruta a vida de prateleira é limitada e para prolongá-la são empregados processos de conservação. Tais processos diferem em função de vários fatores, dentre eles, a natureza do alimento, o período de tempo que se deseja conservá-lo, o custo do processo de conservação, os agentes de deterioração envolvidos, a qualidade microbiológica do alimento, entre outros (MORAES, 2016). Como regra geral, os melhores processos são aqueles que, garantindo um satisfatório prazo de validade, alteram o menos possível às características naturais dos alimentos (LOPES, 2007).

Os métodos empregados para a conservação dos alimentos têm por objetivo evitar as alterações indesejáveis, sejam elas de origem microbiana, enzimática, física ou química (LOPES, 2007). A conservação pelo frio é uma das mais utilizadas no dia-a-dia da população. Os congelados vêm se tornando cada vez mais frequentes na mesa do brasileiro e a refrigeração é a principal arma contra a deterioração dos alimentos e consequente desperdício (LINO e LINO, 2014). Quando os alimentos congelados são processados, armazenados e manipulados de forma adequada, apresentam características sensoriais e nutricionais muito similares às que possuem antes do seu congelamento. O processo, portanto, é considerado um dos mais indicados para a preservação das propriedades químicas, nutricionais e sensoriais dos alimentos. (CARVALHO et al., 2017).

A aplicação do frio pode ocorrer pelo resfriamento ou congelamento do produto fresco ou processado. Nesse último, parte da água do alimento sofre mudança em seu estado, formando cristais de gelo. Desse modo, a atividade de água do alimento é reduzida, o que proporciona o aumento da vida útil do produto (SOUZA et al., 2013). Quanto menor a temperatura de congelamento, mais arredondada será a forma dos cristais de gelo, e menor é o tamanho dos cristais de gelo que se formam no interior da fruta (MATA et. al, 2003),

causando menor destruição das células dos alimentos e retardamento da atividade enzimática (SOUZA, et al., 2013).

O congelamento retarda, mas não para as reações físico-químicas e bioquímicas que levam a deterioração dos alimentos. Em geral, nas condições usuais de congelamento (-18 °C), a atividade microbiana é praticamente impedida, tendo em vista que a maioria dos microrganismos não se desenvolve em temperaturas inferiores a -10 °C (SOUZA et al., 2013).

Têm-se a conservação pela desidratação, que assim como pelo frio, é de suma importância. A desidratação, além de ser utilizada como método de conservação impedindo a deterioração e perdas do valor comercial, resulta ainda em uma transformação do produto, agregando valor e dando origem a uma nova opção no mercado (SILVA et al., 2015). É um dos processos mais antigos utilizados para preservação de produtos com alto teor de água (OLIVEIRA et al., 2006). Porém as frutas desidratadas devem ser desidratadas por processos que mantenham boa parte de suas características nutricionais e sensoriais. Muitos processos de secagem têm sido empregados para a produção de alimentos em pó, entre os quais se destaca a secagem por atomização ou *spray dryer* (ZOTARELLI, 2014).

A secagem por *spray dryer* é um dos processos mais utilizados nos últimos anos para prolongar a vida útil das frutas. Este processo tem por finalidade transformar a polpa de fruta em forma de pó, permitindo um armazenamento prolongado e uma maior estabilidade e longevidade do produto, de modo a ter uma maior vida de prateleira, podendo o consumidor ter acesso a esse produto durante o ano, e não apenas no período de safra (SANTOS et al., 2014). A secagem por *spray dryer* consiste, basicamente, na atomização do líquido em um compartimento que recebe um fluxo de ar quente. A rápida evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas, de maneira que a alta temperatura do ar de secagem não afete demasiadamente o produto. As características do pó produzido em secadores por aspersão dependem principalmente das variáveis operacionais do secador (temperaturas de entrada e saída do ar do secador), da composição do suco de frutas, da concentração de sólidos no suco e também do tipo de aditivo utilizado na formulação (OLIVEIRA et al., 2006).

Em geral, sucos de frutas contêm alta concentração de açúcar, o que resulta em pós com baixa temperatura de transição vítrea e alta higroscopicidade e pegajosidade, acarretando problemas, como adesão às paredes do secador, aglomeração e dificuldades de manuseio (OLIVEIRA et al., 2013). Portanto, é fundamental a utilização de agentes carreadores com alto peso molecular – como polímeros e gomas – antes da atomização, visando facilitar o processo de secagem e as operações de transporte e armazenamento. Os principais agentes

carreadores utilizados em alimentos são os amidos e seus derivados, algumas gomas, lipídeos e proteínas. No caso dos sucos de frutas, os agentes mais comumente utilizados têm sido as maltodextrinas e a goma arábica (TONNON, 2009). A maltodextrina é o agente carreador comumente empregado na secagem por atomização, em função de sua baixa higroscopicidade, alta solubilidade em água fria e baixo custo (FERRARI, 2012).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O trabalho teve como objetivo geral avaliar o efeito do congelamento do suco e da fruta nas propriedades físico-químicas dos pós obtidos através da secagem por *spray dryer*, utilizando como agente carreador a maltodextrina 20 DE.

2.2 Objetivos específicos:

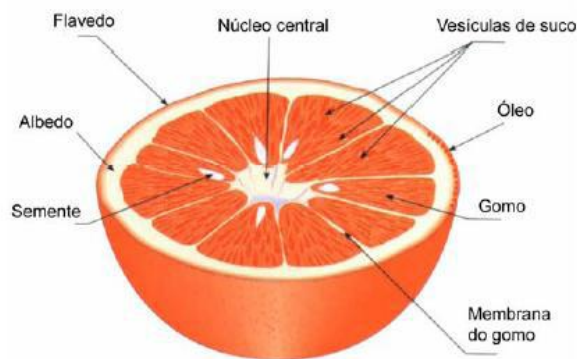
- Obter o pó do suco da laranja: *in natura*, congelado e laranja congelada;
- Obter a caracterização físico-química dos pós de suco;
- Comparar, visando à conservação, os resultados das análises dos pós obtidos do suco *in natura* com o suco congelado e laranja congelada.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Laranja

A laranja (*Citrus sinensis*) é um fruto cítrico, composto por epicarpo, mesocarpo, endocarpo, columela e sementes. No epicarpo ou flavedo, estão presentes os carotenóides que são responsáveis pela coloração alaranjada do fruto maduro, além de limoneno e os óleos essenciais que proporcionam aroma e sabor característicos da laranja. O mesocarpo ou albedo é caracterizado por uma camada branca e esponjosa contendo flavanonas que são responsáveis pelo sabor amargo; pectina que possui propriedade espessante no suco; e fibras à base de celulose. Imediatamente abaixo do mesocarpo, são encontrados os gomos do fruto, contendo as vesículas de suco, separados por um material membranoso, que constitui o endocarpo. A columela é a porção central branca da laranja onde se encontram as sementes. As sementes possuem limonina que, durante o processo de extração, é levado para o suco contribuindo para o amargor do produto final (BARRETO, 2013). A Figura 1 abaixo mostra a estrutura interna da laranja.

Figura 1 – Estrutura interna da laranja



Fonte: Barreto (2013)

O Brasil é o maior produtor de laranja no mundo, responsável por 30% da produção total. São Paulo é o estado que abriga o maior parque citrícola nacional e mundial, contudo, o agronegócio citrícola brasileiro está geograficamente distribuído por dois polos: o paulista, no interior de São Paulo, e o mineiro, no Sul do Triângulo Mineiro, no estado de Minas Gerais (LOPES et. al, 2013). Aproximadamente 80% da produção brasileira de laranja são destinada á indústria de bebidas para a produção de suco. Os principais importadores do suco de laranja brasileiro são a União Europeia, Estados Unidos, Japão e China (FRANCO, 2016).

3.2. Suco da laranja *in natura*

A Instrução Normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, define suco de laranja como a “bebida não fermentada e não diluída, obtida da parte comestível da laranja (*Citrus sinensis*) através de processo tecnológico adequado”. O suco não poderá conter substâncias estranhas à fruta, sendo proibida a adição de aromas e corantes artificiais (BARRETO, 2013).

De acordo com a legislação brasileira, o suco de laranja deverá obedecer à composição apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição de suco integral de laranja

Composição	Mínimo	Máximo
Sólidos solúveis em °Brix a 20 °C	10,5	-
Relação de sólidos solúveis em Brix/acidez em g/100g de ácido cítrico anidro	7,0	-
Açúcares totais naturais da laranja (g/100g)	-	13,0
Ácido ascórbico (mg/100g)	25,0	-
Óleo essencial de laranja % (v/v)	-	0,035

Fonte: Barreto (2013)

O suco de laranja é composto por água, açúcares, ácidos orgânicos, pectina, minerais, óleos essenciais, fibras, proteínas e lipídios, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química aproximada de suco de laranja.

Constituintes	Porcentagem (%)
Água	85-90
Açúcares	6-9
Ácidos	0,5-1,5
Pectina	0,5-1,5
Minerais	0,5-0,8
Óleos Essenciais	0,2-0,5
Fibra	0,5-1,0
Proteína	0,5-0,8
Lipídeos	0,1-0,2

Fonte: Barreto (2013)

A maior parte da produção brasileira destina-se à indústria do suco, a qual se concentra no Estado de São Paulo, que é responsável por 70% das laranjas e 98% do suco que o Brasil produz. No Brasil, o mercado interno de suco industrializado está relacionado quase que estritamente ao comércio do suco de laranja natural pasteurizado e do suco de laranja

reconstituído. Como opção intermediária, surgiram os sucos prontos para beber, que são pasteurizados e comercializados sob refrigeração (GOMES, 2006).

3.3. Conservação alimentícia

A necessidade de conservação, muito tem a ver com o fato das matérias-primas agroalimentares serem de origem animal ou vegetal, que são susceptíveis a alterações. Essas alterações podem ser produzidas por vários agentes, sejam eles físicos (luz e calor), químicos (oxigênio e água), ou biológicos (microrganismos e enzimas). Alimentos como frutas, carnes, leite são produtos que se não conservados adequadamente estragam rapidamente. Esse estado acontece porque esses alimentos têm todos os substratos, ou seja, são ricos em nutrientes, condições de pH ideais, entre outros, para o desenvolvimento microbiano, portanto são produtos que tem vida útil mais curta (VASCONCELOS e FILHO, 2010).

Os métodos de conservação dos alimentos tem o objetivo de aumentar a vida útil dos alimentos através das técnicas que evitam alterações microbianas, enzimáticas, químicas e físicas, entretanto, mantendo os nutrientes e suas características organolépticas (VASCONSELOS e FILHO, 2010).

Faraoni (2006) em seu trabalho comparou o tempo de vida útil da polpa de manga Ubá orgânica, pasteurizada (75° por 8,7 min e 80°C por 4,6 min), com a polpa de manga Ubá orgânica, congelada, através da qualidade nutritiva, sensorial e microbiológica. Já Silva et al. (2015) avaliou os efeitos da pasteurização (75°C por 30 min), branqueamento (70°C por 2 min) e congelamento (-5°C ou -18°C) através das características físico-químicas (acidez titulável, pH e sólidos solúveis) e nos carotenoides de polpa de araticum durante 180 dias de armazenamento. Em seu estudo, Oliveira et al. (2017) verificou a influência do branqueamento sobre as características químicas, físico-químicas e sensoriais da polpa de goiaba armazenada no período de 180 dias (-18°C). Silva (2014) caracterizou o fruto do juazeiro sob o aspecto físico, físico-químico e químico, avaliando a conservação por fermentação láctica espontânea, sob a influência dos cloretos de sódio, cálcio e potássio. Cardello et al. (1994) em seu estudo submeteu a manga var. Haden a três diferentes processamentos e armazenou a -18°C, a fim de determinar a cada 30 dias, o teor de ácido ascórbico no período de congelamento por 180 dias.

3.4. Alternativa de conservação: congelamento do suco e frutas

Os alimentos podem apresentar diversos métodos de conservação: calor, frio, controle da umidade, aplicação de aditivos, fermentação, salga e defumação, irradiação, pressão hidrostática, pulsos elétricos, pulsos luminosos e pulsos magnéticos (VASCONSELOS e FILHO, 2010).

A remoção total ou parcial da água do alimento é o princípio do método de conservação pelo controle da umidade. Essa eliminação da água pode ser efetuada de varias maneiras: por secagem natural, por salga, pelo uso de açúcar e por secagem artificial ou desidratação (TANAKA, 2007). Industrialmente, a desidratação é definida como secagem (retirada de água) pelo calor produzido artificialmente sob condições de temperatura, umidade e corrente de ar cuidadosamente controlado. Em resumo, o aumento da temperatura do produto a ser desidratado força a evaporação da água, enquanto a circulação do ar remove a umidade evaporada (LOPES, 2007).

A utilização do calor como método de conservação tem como o objetivo destruir e/ou reduzir o número de microrganismos deteriorantes e patogênicos nos alimentos. Além disso, o uso dessa forma de energia serve para inativar as enzimas autolíticas, naturalmente presentes nos alimentos, responsáveis pelos processos de sua deterioração e putrefação. O calor aplicado aos alimentos não mata toda a carga microbiana em um só momento. Ao contrário, a morte dos microrganismos ocorre de forma gradual, com o decorrer do tempo (CARDOSO e RUBENSAM, 2011).

Os alimentos fermentados estão entre os mais antigos alimentos processados. Consiste, em linhas gerais, na modificação intencional dos alimentos pela atividade de certos microrganismos para obter produtos de sabor agradável, saudáveis e estáveis. É um processo anaeróbico no qual uma transformação química é realizada em um substrato orgânico pela ação de enzimas produzidas por microrganismos (VASCONSELOS e FILHO, 2010).

A conservação pelo frio é uma das mais utilizadas no dia-a-dia da população. Os congelados vêm se tornando cada vez mais frequentes na mesa do brasileiro e a refrigeração é a principal arma contra a deterioração dos alimentos e conseqüente desperdício (LINO e LINO, 2014).

O efeito conservador do frio baseia-se na inibição total ou parcial dos principais agentes responsáveis pela alteração dos alimentos. Quanto mais baixa for a temperatura, mais

reduzida será a ação química, enzimática e o crescimento microbiano (VASCONSELOS e FILHO, 2010). Todos os microrganismos têm temperaturas ótimas para o seu crescimento e reprodução, sendo assim, o princípio básico da conservação pelo frio é manter a temperatura abaixo da ideal para o crescimento e proliferação microbiana. Da mesma forma as reações enzimáticas ocorrem em temperaturas ideais, sendo assim o princípio para minimizá-las é o mesmo, manter a temperatura abaixo da ideal. Existem dois tipos de conservação pelo frio, a refrigeração e o congelamento. Cada um se adequando ao tipo de alimento e ao tempo de conservação que se deseja atingir (LINO e LINO, 2014).

Podemos definir refrigeração como o abaixamento da temperatura de um produto visando manter a qualidade pela diminuição das velocidades das reações de deterioração que possam ocorrer no mesmo. Neste processo, apesar de não ocorrer eliminação dos microrganismos, inibe-se o ciclo de reprodução e, conseqüentemente, retarda a deterioração dos alimentos quando atacados. Para manter os alimentos refrigerados utilizam-se temperaturas acima do ponto de congelamento entre 0°C e 7°C, não ocorre mudança de fase da água do alimento (LINO e LINO, 2014).

O congelamento é a operação unitária em que a temperatura do alimento se reduz para abaixo do seu ponto de congelamento, no qual uma proporção elevada de água muda de estado físico, formando cristais de gelo. É um tratamento a frio destinado aos alimentos que necessitam de maior período de conservação. Esse processo, pelo largo tempo de armazenamento que faculta o alimento, tem nítida primazia sobre os demais meios de conservação, de natureza química e física. A desvantagem relativa desse método, em comparação aos proveitos que oferece ao mercado de consumo, é o custo, já que necessita de uma cadeia ininterrupta de aplicação de diferentes graus de baixa temperatura. As temperaturas utilizadas são baixas o suficiente para reduzir ou parar a deterioração causada pelos microrganismos, enzimas ou agentes químicos como o O₂ (FARAONI, 2006).

O congelamento envolve o decréscimo da temperatura até -18°C ou abaixo, a cristalização da água e dos solutos. Esses efeitos não ocorrem individualmente, mas simultaneamente, compreendendo a redução da temperatura sem mudança de fase e a cristalização (COLLA e HERNANDEZ, 2003). Nas condições usuais (-18 °C) para armazenamento de produtos congelados, a atividade microbiana é praticamente impedida, tendo em vista que a maioria dos microrganismos não se desenvolve em temperatura inferior a -10°C. Além disso, a transição água-gelo ainda apresenta a vantagem de fixar a estrutura do tecido e a água, sob a forma de cristais, indisponibilizando-a como solvente e/ou como reativo. Assim, a difusão de compostos químicos no tecido é muito lenta, o que, associado á

diminuição na temperatura, contribui para o decréscimo na velocidade da maioria das reações (ARAÚJO et al., 2007).

Quando se inicia o congelamento, parte da água livre do alimento cristaliza-se, ocasionando a concentração da solução restante e diminuição de seu ponto de congelamento. Com o contínuo decréscimo da temperatura, aumenta a formação de cristais de gelo e, conseqüentemente, a concentração de solutos na solução restante ocasiona a diminuição do ponto de congelamento, portanto, dependentes da temperatura. Em função desse aumento de concentração de solutos nas soluções celulares dos alimentos, ocorrem alterações no pH e outras características das soluções remanescentes (COLLA e HERNANDEZ, 2003). Temperaturas inferiores à do congelamento produzem perdas em algumas vitaminas hidrossolúveis. As perdas nas outras vitaminas devem-se principalmente ao líquido liberado durante o descongelamento (LINO e LINO, 2014).

Araújo et al. (2009) verificou a influência do congelamento sobre as características físico-químicas da polpa de amora-preta durante 90 dias de armazenamento a -18°C , avaliando a mesma a cada 15 dias quanto aos teores totais de compostos fenólicos, antocianinas, ácido ascórbico, atividade antioxidante, sólidos solúveis totais, pH, acidez total e viscosidade aparente. Os autores ao final do estudo verificaram que o congelamento como método de conservação, mantém a estabilidade físico-química.

Carvalho et al. (2017) em seu estudo fez análises físicas, químicas e de capacidade antioxidante a cada 45 dias em duas polpas de frutas mistas, armazenadas sob congelamento (-18°C) por 365 dias, a partir de sucos tropicais mistos: F1 - suco tropical misto de acerola (10%), abacaxi (20%), açaí (5%), caju (5%), cajá (5%), camu-camu (5%), água (43,1%) e açúcar (6,9%) e F2 - suco tropical misto de acerola (10%), abacaxi (20%), açaí (10%), cajá (10%), água (43,4%) e açúcar (6,6%). Eles puderam observar que depois de 365 dias de armazenamento congelado, as perdas observadas para o teor de carotenoides foram 2,80% para a formulação F1 e 10,07% para a formulação F2. Já para antocianinas totais, as perdas foram maiores, 44,35% e 73,48%, para as formulações F1 e F2, respectivamente. De maneira geral, observou-se que o armazenamento sob congelamento foi eficaz na manutenção das características químicas e de atividade antioxidante das polpas de frutas mistas estudadas.

Agostini-Costa et al. (2003) em seu trabalho avaliaram o efeito do processo industrial de congelamento da polpa de acerola, visando à manutenção da estabilidade dos carotenóides durante a estocagem da mesma. Os carotenóides foram determinados na polpa recém-

processada não congelada (controle) e nas polpas congeladas em álcool -20°C , estocadas por onze meses. O autor conclui que a polpa de acerola apresentou uma retenção relativamente boa dos carotenóides pró-vitamínicos após o congelamento e a estocagem por um período de 11 meses, onde após quatro meses de estocagem, o conteúdo de b-caroteno da polpa congelada apresentou redução significativa de 20%, em relação ao conteúdo da polpa-controle (7,09 mg/g), sem alteração significativa após esse período.

3.5. Microestruturas dos cristais de gelo

O congelamento é um dos métodos mais utilizado pelo homem para conservação de alimentos. Atualmente, mesmo com uma cadeia logística que torna seu custo mais elevado frente a outros métodos de conservação, os alimentos congelados ainda possuem um amplo mercado, principalmente devido à sua praticidade de consumo. Contudo, se, por um lado, as baixas temperaturas e a formação dos cristais de gelo reduzem o crescimento de microorganismos e a atividade enzimática, por outro, quando grandes cristais de gelo são formados, pode ocorrer danos à integridade de componentes celulares, alterando de forma significativa as características originais do alimento. Sem dúvida, a taxa ou velocidade de congelamento é um aspecto importante, uma vez que leva à formação de cristais de gelo menores e, conseqüentemente, menores os impactos sobre a qualidade do produto (PROVESI e AMANTE, 2015).

A gravidade da injúria pelo frio é diretamente proporcional a temperatura de armazenamento e ao tempo de exposição às condições inadequadas, quanto mais abaixo da temperatura crítica estiver armazenado o produto, mais rapidamente irá surgir e mais grave será a injúria, bem como, quanto maior o tempo de exposição, maior a gravidade da desordem (SOUZA et al., 2013). No congelamento lento formam-se cristais maiores do que no congelamento rápido, ocasionando a ruptura das membranas celulares devido às cristais formados no espaço intercelular (COLLA e HERNANDEZ, 2003).

O congelamento rápido de produtos alimentícios, ou ultracongelamento, é realizado em alguns minutos. Congelamento no qual a queda de temperatura é muito brusca, congelando a água dos espaços intercelulares imediatamente, formando pequenos cristais de gelo sem danificar as membranas celulares. O processo é ideal, pois ao descongelar, o alimento reassume suas condições iniciais sem que haja perda significativa de nutrientes e de propriedades sensoriais. A temperatura mais utilizada é de -25°C com circulação de ar ou de -

40°C com ou sem circulação de ar (LINO e LINO, 2014). No congelamento lento há formação de cristais de gelo fora das células, e o dano é do tipo físico-químico, devido à alteração no equilíbrio iônico na fase líquida (a concentração do soluto é maior no interior da célula). O congelamento lento causa desidratação das células dos alimentos, ocorre um dano permanente devido ao aumento da concentração de solutos e colapso da estrutura celular. Durante o descongelamento as células não recuperam sua forma e turgidez originais, o alimento amolece, e o material das células rompidas é perdido (SOUZA et al., 2013).

As variações físicas que ocorrem nos cristais de gelo, denominadas de recristalização, são responsáveis pela grande parte de perdas de qualidade dos alimentos congelados e é em grande parte causada por flutuações da temperatura de estocagem (LINO e LINO, 2014). A extensão dos danos causados pelo crescimento de cristais de gelo pode ser avaliada através de medidas físicas que relacionam a qualidade do produto com as características de composição, firmeza e porosidade do produto descongelado. Estes parâmetros incluem sólidos solúveis totais, textura e capacidade de retenção de água pela microestrutura. O teor de sólidos solúveis totais é um parâmetro que influencia diretamente as propriedades físico-químicas, responsáveis pela cristalização inicial do gelo tais como ponto de congelamento, grau de superresfriamento, nucleação e crescimento dos cristais de gelo (RESENDE e CAL-VIDAL, 2002).

A cristalização é a formação de uma fase sólida organizada em uma solução. O processo de cristalização envolve a nucleação e o crescimento de cristais. O crescimento de cristais é simplesmente o alargamento dos núcleos formados na fase de nucleação, promovido pela adição de moléculas de água ao núcleo de cristalização, portanto nucleação e cristalização ocorrem simultaneamente (COLLA e HERNANDEZ, 2003). O início da cristalização da água no interior dos alimentos é determinado pela correlação entre temperatura, velocidade de resfriamento, concentração de solutos e grandezas das forças que orientam as moléculas na fase líquida. Em sistemas biológicos a presença de membranas celulares interfere substancialmente no curso normal da cristalização da água no interior da microestrutura do alimento. O processo de crescimento do gelo a partir da água disponível é complexo, e a viscosidade dos sistemas desempenha uma importante função nesse processo. A rejeição do soluto ou a adsorção seletiva na interface de crescimento são alguns fatores que podem estar envolvidos nestes mecanismos (RESENDE e CAL-VIDAL, 2002).

A localização dos cristais de gelo nos tecidos e suspensões celulares é função da taxa de congelamento, da temperatura e da natureza das células. O congelamento lento geralmente

causa a formação de cristais, principalmente no meio extracelular. Todos os tipos de tecidos quando congelados rapidamente sob temperaturas muito baixas, produzem cristalização intracelular (COLLA e HERNANDEZ, 2003).

Brito et al. (2014) em seu trabalho, congelou a polpa de limão Tahiti a $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ em um freezer doméstico com o objetivo de determinar o tempo e temperatura de congelamento e estruturação dos cristais de gelo. Os resultados mostraram que as temperaturas de início de congelamento foram de $-1,024^{\circ}\text{C}$, $-1,045^{\circ}\text{C}$ e $-1,032^{\circ}\text{C}$ correspondendo aos tempos de 1999, 2280 e 2000 segundos, respectivamente. As microestruturas dos cristais de gelo apresentaram morfologias de uma rede de dendritas crescendo paralelamente. Mata et al. (2003) em seu estudo, congelou a fruta cajá com o objetivo de estudar a cinética de congelamento, nas temperaturas de -30°C , -60°C e -90°C , pois, de uma maneira geral, os frutos têm um conteúdo de água elevado e o tamanho e as formas dos cristais de gelo dependem das velocidades de congelamento e da temperatura de congelamento, onde quanto menor a temperatura de congelamento, mais arredondada será a forma dos cristais de gelo e menor o tamanho dos mesmos. E pode concluir que o cajá levou 75 minutos, na fase de cristalização, para se congelar a temperatura de -30°C , 44 minutos à temperatura de -60°C e 40 minutos à temperatura de -90°C .

Quanto maior o tamanho dos cristais de gelo, que ocorre no tipo de congelamento lento, maiores os danos causados a estrutura celular do alimento. Ou seja, sendo o ideal a ocorrência de um congelamento rápido, para que os cristais de gelo formados sejam bem menores, e assim não modifiquem a estrutura celular do alimento, para que o mesmo volte ao seu estado normal, sem perder suas características físico-químicas ao ser descongelado.

3.6. Secagem

A crescente introdução de alimentos em pó tem motivado pesquisadores e indústrias a desenvolverem e aplicarem novas tecnologias de secagem, que preservem a parte nutricional dos alimentos, com baixos custos e tempos de operação (ZOTARELLI, 2014). A secagem é um dos processos disponíveis para a aplicação na indústria de polpas de frutas, concentrando os princípios da matéria-prima e habilitando o produto para o armazenamento em condições ambientais por longos períodos (GOMES et al., 2004). Além do mais que a mesma é um dos processos mais antigos utilizados para preservação de produtos com alto teor de água.

Várias são as vantagens em se utilizar um processo de secagem, desde a facilidade na conservação do produto até a estabilidade dos componentes aromáticos á temperatura

ambiente, durante longo tempo. Outras vantagens são a proteção contra a degradação enzimática e oxidativa, redução do seu peso, dispensa de refrigeração durante o transporte e armazenagem, disponibilidade do produto durante qualquer época do ano e agregação de valor ao produto (ROCHA, 2009).

A desidratação além de ser utilizada como um método de conservação, impedindo a deterioração e perda do valor comercial, objetiva também o refinamento do alimento, tendo-se como consequência a instalação de um novo produto no mercado, o que usualmente vem motivando os investimentos de produção e beneficiamento agrícola, face aos benefícios monetários que derivam da transformação do produto (SOARES et al., 2001).

Existem diversas técnicas de desidratação para conservação de alimentos, entre elas se destacam a secagem por *spray dryer*, rolo ou tambor de secagem e liofilização. A liofilização é um processo que se caracteriza pela retirada da água do alimento sem submetê-lo a altas temperaturas. No processo de liofilização, o alimento passa pelas etapas de preparo (lavagem, descascamento, corte e branqueamento) sendo congelado a temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ e colocado em câmara de alto vácuo. Com o aumento progressivo da temperatura e a manutenção da condição de baixíssima pressão (vácuo) atinge-se a temperatura necessária para obter a saída da água do alimento por sublimação. Desta forma o alimento não é exposto a altas temperaturas e conseqüentemente não ocorre a degradação do valor nutricional (ROCHA, 2009).

O rolo ou tambor de secagem são formados por cilindros metálicos ociosos que giram horizontalmente. Em seu interior circula vapor, que faz com que a temperatura da superfície do cilindro atinja de $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $170\text{ }^{\circ}\text{C}$. O produto líquido ou em forma de pasta, é aplicado como uma fina camada sobre a superfície externa do tambor. A desidratação do produto termina antes que a volta seja completa (de 20 segundos a 3 minutos), e ele é desprendido de sua superfície por uma faca ou um raspador que se situa a três quartos de volta do ponto de aplicação do produto. Os secadores de tambor permitem a produção elevada e são muito econômicos. No entanto, o tempo de contato com temperaturas elevadas é relativamente longo ocasionando modificações em sua estrutura físico-química, sendo assim os produtos obtidos a partir desse processo de desidratação são de qualidade inferior ao processo de secagem por liofilização e atomização (HAMMES, 2013).

A secagem por *spray dryer* é um processo mais barato que a secagem por liofilização e preserva mais as propriedades físico-químicas dos alimentos quando comparado com a

secagem com rolo ou tambor (HAMMES, 2013). A tecnologia de secagem por *spray dryer* é a mais comumente utilizada na indústria alimentícia e permite o controle das características do produto final, sendo um dos métodos mais antigos de microencapsulação (TEODORO, 2016).

3.6.1. Secagem por *spray dryer*

A secagem por atomização, nebulização ou *spray dryer*, teve seus primeiros passos na metade do século XVIII, quando a primeira operação de secagem de ovos foi patenteada. Porém, o início de sua utilização em escala industrial data da década de 20. Os primeiros produtos de que se tem notícia como obtidos em larga escala por *spray dryer* foram o leite e o sabão em pó. A partir de então, seu uso disseminou-se pela indústria de processos em geral, sendo hoje, especialmente aplicado para a secagem de produtos alimentícios e farmacêuticos (TONON, 2009).

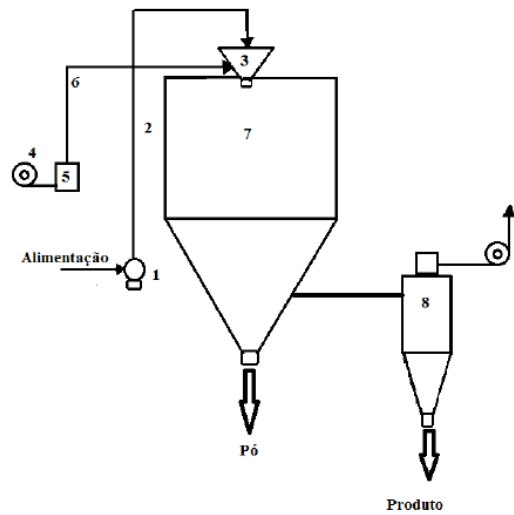
O produto resultante da técnica de secagem pode ser apresentado de varias formas, tais como pós, grânulos ou aglomerados, dependendo das propriedades físicas e químicas do material inicial, do projeto do secador e da operação em si (HAMMES, 2013). Os parâmetros da secagem são muito importantes para definir a qualidade do processo de microencapsulamento. Devem ser considerados os parâmetros como a temperatura do ar de entrada e saída; temperatura de alimentação; tipo e condições de atomização; vazão de fluxo; umidade do ar de secagem e tamanho de partícula (TEODORO, 2016).

A operação de secagem em *spray dryer* consiste de quatro fases: atomização do líquido, contato do líquido atomizado com o ar quente, evaporação da água e separação do produto em pó do ar de secagem, de modo que todas estas fases interferem nas características do pó final. A maneira de atomizar e as propriedades do líquido atomizado influenciam o tamanho da partícula sólida, sua densidade, aparência e umidade. O tipo de contato líquido – ar quente e a evaporação influenciam não só essas características, como também a capacidade de retenção de aroma e sabor, enquanto a técnica de separação do pó do ar seco influencia a granulometria do produto desejado (TONON, 2009).

A secagem por *spray dryer* é um processo contínuo com um tempo de secagem relativamente curto. Esse líquido é atomizado, utilizando-se um sistema centrífugo ou de alta pressão, pelo qual as gotículas atomizadas entram em contato com um fluxo de ar quente. Assim, há uma rápida evaporação, que permite manter baixa a temperatura do produto final, possibilitando a secagem de produtos sensíveis ao calor sem afetar excessivamente sua

qualidade (FERRARI et al., 2012). O termo atomização relacionado à secagem em *spray dryer* deve-se à divisão do líquido em milhões de partículas individuais, formando essa nuvem de gotículas (TONON, 2009). Um esquema simplificado de um *spray dryer* pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema do princípio da torre de secagem ‘simples estágio’. (1: Bomba de alimentação, 2: Circuito de alimentação, 3: Atomizador, 4: Ventilador de ar de entrada, 5: Aquecedor de ar, 6: Canalizador de ar quente, 7: Câmara de secagem, 8: Ciclone, 9: Ventilador de ar de saída).



Fonte: Hammes (2013)

Existem três tipos de atomizadores utilizados comercialmente em secadores *spray dryer*: bocais atomizadores a dois fluidos, bocais a pressão, e disco rotativo. O diâmetro do bico atomizador é também responsável pela distribuição do tamanho das partículas do produto desidratado, podendo ser regulado de acordo com os tamanhos de partículas desejados. Considerando como sendo uma esfera a forma que o material adquire quando é atomizado por um bico de *spray* para um dado volume de fluido, ao diminuirmos o diâmetro das gotículas pela metade, temos um aumento de oito vezes na área superficial do sistema. (HAMMES, 2013). Os atomizadores cumprem um papel importante no processo de secagem. A utilização desses depende das características operacionais do material a ser seco. Em geral, o bocal a dois fluidos produz gotas menores que o bocal a pressão, apesar desse último propiciar maior taxa de produção. O disco rotativo é recomendado para líquidos de difícil passagem pelo bocal (OI et al., 2010).

A desidratação por meio de *spray dryer* é o modo mais conveniente de secar soluções que contêm sólidos em suspensão, especialmente de origem orgânica. Os *spray dryer* são empregados na desidratação de alimentos como leite, ovos, frutas, extratos de café e de tomate. Os alimentos líquidos são atomizados em gotículas microscópicas (10 a 200nm) que

entram em contato com fluxo de ar quente (120 a 230 °C), sendo a desidratação muito rápida, da ordem de 15 a 45 segundos e a qualidade do produto é excelente, visto que as partículas atingem no máximo cerca de 80 °C. As características do pó produzido em *spray dryer* dependem principalmente das variáveis operacionais do secador (temperaturas de entrada e saída do ar do secador), da composição do suco de frutas, da concentração de sólidos no suco e também do tipo de aditivo utilizado na formulação (OLIVEIRA et al., 2006).

A secagem em *spray dryer* pode ser utilizada para secagem de diversos produtos. Barbosa (2010) em seu estudo para avaliar a influência da temperatura do ar de secagem (155°C e 165°C) e de carreadores (maltodextrina 10DE e 20DE, com concentrações de 12%, 15%, 18% e 21%) sobre os parâmetros de qualidade de suco em pó de mistura de frutas (polpa de cajá, manga e mamão), fez a secagem da mistura de frutas em *spray dryer*, obtendo como resultado que o suco elaborado com a maltodextrina 10DE a uma temperatura de 155°C apresentou melhor atributos de qualidade e melhores propriedades funcionais. Oliveira et al. (2006) desidratou a polpa de pitanga com adição de maltodextrina em secador por aspersão, onde o trabalho teve como objetivo a realização da caracterização físico-química da polpa integral, polpa formulada com maltodextrina e a pitanga em pó. O mesmo pode observar que a polpa de pitanga integral e a polpa formulada eram segundo o teste de Tukey estatisticamente diferentes com relação a todos os parâmetros avaliados: °Brix, pH, umidade, sólidos totais, proteínas, extrato alcoólico, acidez total titulável, açúcares redutores, cinzas, ácido ascórbico e cor. Zotarelli (2014) em seu trabalho, obteve o suco de manga em pó desidratada pelo método do *refractante window*, bem como pelos métodos de liofilização e *spray dryer* com o objetivo de comparar os métodos aplicados, obtendo como resultado final que é possível a produção de pós de manga por *refractance window* sem a adição de agentes carreadores, com características físico-químicas comparáveis às do pós de manga produzidos por *spray dryer* e liofilização, sem a adição de agentes.

3.6.2. Vantagens da secagem por *spray dryer*

As principais vantagens da secagem por *spray dryer* são a baixa degradação e alteração de nutrientes, aroma, sabor, cor, alta produtividade e capacidade, efetivo controle das variáveis, produz matérias diretamente na forma de pó com forma, tamanho e densidades controlados pelas condições de processo, capacidade de microencapsulação de aromas e corantes (ROCHA, 2009). Além disso, como a comercialização da fruta está restrita à sua época de safra, o processo de *spray dryer* permite o aumento da vida útil do produto e uma

maior estabilidade, podendo o consumidor ter acesso a esse produto durante todo o ano (FERRARI et al., 2012). Tem sido utilizada desde o final dos anos 1950 para oferecer proteção contra a degradação e oxidação dos *flavors* lipídicos e para converter líquidos em pós (TEODORO, 2016).

A utilização da secagem por *spray dryer* possibilita a minimização de volume/massa e, ainda, os requerimentos de estocagem e transporte são muito menores quando comparados às partículas líquidas ou em gel. A atomização é uma importante operação nesta tecnologia, pois controla a formação de gotas, cujas técnicas mais comuns fazem uso do bico injetor ou do disco giratório (TEODORO, 2016).

3.6.3. Dificuldades na secagem do suco de frutas

Os sucos de fruta obtidos por *spray dryer* apresentam alguns obstáculos em suas propriedades funcionais, como alta pegajosidade (*stickiness*) e higroscopicidade, que tornam a sua embalagem e utilização substancialmente mais difíceis. O comportamento pegajoso dos materiais ricos em açúcares e ácidos é atribuído aos açúcares de baixo peso molecular, como frutose, glicose e sacarose, e aos ácidos orgânicos como cítrico, málico e tartárico, que em geral constituem mais de 90% dos sólidos presentes nos sucos e polpas de frutas. A rápida remoção de umidade que ocorre durante a atomização resulta em um produto completamente amorfo, ou ainda em um produto com algumas regiões microcristalinas dispersas na massa amorfa (TONNON, 2009).

O estado amorfo é caracterizado por um estado metaestável em não equilíbrio mostrando um alto grau de higroscopicidade influenciando sobre as características do material desidratado, principalmente sua tendência a torna-se pegajoso e formar aglomerados de alta consistência. O *stickiness* é uma propriedade de superfície de um material que pode ser caracterizado como a coesão e/ou aderência entre partículas. É governado por um fenômeno físico chamado de transição vítrea, no qual um material sólido seco é transformado em um material pegajoso. Isso ocorre a uma temperatura denominada temperatura de transição vítrea (T_g) (BARBOSA, 2010).

No início do processo de *spray dryer*, as gotículas estão dispersas individualmente em um grande volume do secador, o que evita que haja aglomeração, apesar de sua alta umidade. Ao atingirem o coletor (parte inferior do secador), quando há um grande aumento da quantidade de partículas por unidade de volume, essa aglomeração também não deveria ocorrer. No entanto, devido à presença do alto teor de açúcares com baixa T_g , o produto pode

permanecer como um xarope (quando sua viscosidade está abaixo de um valor crítico de 10^7 Pa.s), mesmo a baixas umidades, neste ponto do secador. Dependendo da composição do produto e das condições de secagem, a superfície das partículas pode permanecer plástica, resultando na aderência às paredes do secador ou mesmo entre as partículas. Desse modo, o produto obtido ao final do processo pode ser tanto um xarope quanto um pó pegajoso, ou ainda um pó com escoamento relativamente livre (TONON, 2009).

Alimentos com baixo conteúdo de umidade e Tg acima da temperatura de estocagem podem ser considerados estáveis, mas um aumento significativo na umidade reduz a temperatura de transição vítrea. Quando a Tg do produto é igual à temperatura ambiente na qual ele se encontra, o valor do conteúdo de umidade ou da atividade de água o produto é considerado crítico. A estabilidade desses produtos está extremamente associada com a Tg, a qual depende das condições de estocagem como da atividade de água, umidade ou temperatura (BARBOSA, 2010).

Em geral, a temperatura de transição vítrea dos alimentos ricos em açúcar é tão baixa, que a secagem destes produtos puros não é viável economicamente. Daí a necessidade da adição de um coadjuvante com alto peso molecular e alta temperatura de transição vítrea (como polímeros e gomas) ao produto a ser atomizado (TONON, 2009).

3.6.4. Agentes carreadores

Esses aditivos ou também chamados de carreadores possuem propriedades que protegem o aroma e flavor do material durante a secagem, além de favorecer maior rendimento do produto desidratado. Os aditivos também influenciam sobre as propriedades físico-químicas do produto tais como tamanho e distribuição da partícula, fluidez, densidade mássica, compressibilidade, solubilidade, pegajosidade, conteúdo de umidade e higroscopicidade do material desidratado (BARBOSA, 2010).

A tecnologia de secagem por *spray dryer* é flexível, de operação contínua, produz partículas de boa qualidade, a tecnologia é bem definida, relativamente econômica e simples. Uma limitação dessa tecnologia é o número reduzido de materiais de parede disponíveis, visto que todos os processos de *spray dryer* na indústria de alimentos são carregados em alimentações com formulações aquosas, fato que demanda que o material de parede seja solúvel em água a um nível aceitável. Os típicos materiais de parede incluem goma acácia, maltodextrinas e amidos modificados. Outros polissacarídeos (alginato, carboximetilcelulose,

goma guar) e proteínas (proteínas do soro, proteínas de soja, caseinato de sódio) podem ser utilizados como materiais de parede neste tipo de secagem (TEODORO, 2016).

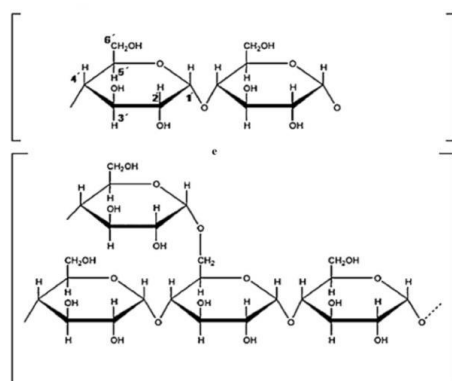
A desidratação por *spray dryer* de sucos de frutas além de ser dificultado devido aos altos teores de açúcares também apresentam baixo conteúdo de sólidos solúveis. Na maioria das vezes para que o processo seja viável economicamente e tecnicamente é necessário que a solução apresente uma faixa de pelo menos 25% de sólidos. Para isso é necessário adicionar alguns aditivos de grau alimentício antes de serem desidratados (SANTOS et al., 2014).

Costa (2013), estudou a microencapsulação de bioaroma de queijo suíço com maltodextrina 20 DE e amido modificado por meio de secagem em *spray dryer*. Oliveira et. al (2013), utilizou maltodextrina 5 DE, maltodextrina 10 DE, goma arábica e Capsul® em polpa de morango desidratada em *spray dryer* e armazenada em temperatura ambiente por 90 dias. Fernandes et al. (2013), usou como agente encapsulante a goma arábica (10 % a 30 %) para microencapsular óleo de alecrim por secagem por *spray dryer*.

3.6.5. Maltodextrina

As maltodextrinas são, por definição, hidrolisados de amido que consistem em unidades de α -D-glicose unidas principalmente por ligações glicosídicas (1 \rightarrow 4) e apresentam uma fórmula geral igual a $[(C_6H_{10}O_5)_nH_2O]$. São produzidas industrialmente pela hidrólise enzimática ou ácida, ou ainda uma combinação de ambas, das moléculas de amido (TONNON, 2009). A Figura 3 ilustra a estrutura da molécula da maltodextrina.

Figura 3 – Estrutura molecular da maltodextrina



Fonte: Teodoro (2016)

São classificadas de acordo com o valor de sua dextrose equivalente (DE), definida como a percentagem de açúcares redutores calculados com base na quantidade de glicose

presente na massa seca. Quanto maior a hidrólise do produto, maior seu teor de DE (TEODORO, 2016).

Geralmente as maltodextrinas que apresentam valores de DE menores que 20 possuem maior capacidade de absorver umidade, baixo custo, aroma e sabor neutros e baixa viscosidade em altas concentrações de sólidos, oferecendo boa proteção contra a oxidação (dependendo da dextrose equivalente). A desvantagem do uso da maltodextrina como material de parede é que a mesma apresenta pouca capacidade emulsificante e baixa retenção de voláteis (TEODORO, 2016).

Segundo Barbosa (2010) que utilizou maltodextrina 10 e 20 DE, em concentrações de 12, 15, 18 e 21% em massa na secagem em *spray dryer* da mistura de polpa de frutas (cajá, manga e mamão) observou-que o suco utilizando maltodextrina 10 DE á temperatura de 155°C apresentou melhor atributos de qualidade e propriedades funcionais. Oliveira et al. (2006) na secagem por aspersão da polpa de pitanga formulada com 15% de maltodextrina, notou-que a polpa formulada apresentou maiores valores de sólidos totais e sólidos solúveis totais em relação à polpa integral. Ferrari et al. (2012) usou maltodextrina, em concentrações de 5, 15 e 25% em massa para secagem em *spray dryer* do suco de amora-preta, e pode notar que o ensaio realizado a 160°C com 5% de maltodextrina foi o mais efetivo na manutenção do teor de antocianinas.

3.7. Características físico-químicas

3.7.1 Ácido ascórbico (vitamina c)

Vitamina C é o nome dado ao conjunto de compostos (isômeros, formas sintéticas e produtos de oxidação) que apresentam atividade biológica semelhante à do ácido l-ascórbico (2,3 enediol-l-ácido glicônico- γ lactona). As principais fontes de ácido ascórbico são as frutas e hortaliças, particularmente as frutas cítricas e os vegetais folhosos. Entretanto, o ácido ascórbico é considerado a vitamina mais sujeita à degradação por exposição ao calor, além de sofrer alterações aceleradas pela presença de oxigênio e pelo pH do meio, entre outras condições (CUNHA et al., 2014).

A determinação do conteúdo de ácido ascórbico em vegetais processados é muito importante, pois além de seu papel fundamental na nutrição humana, sua degradação em vegetais submetidos a processamentos pode favorecer o escurecimento não enzimático, e causar aparecimento de sabor estranho. Além disso o ácido ascórbico é um importante indicador, pois, sendo a vitamina mais termolábil, sua presença no alimento, após o

processamento, indica que provavelmente os demais nutrientes também estão sendo preservados (CARDELLO et al., 1993).

Moura (2017) em seu trabalho de secagem por atomização do caju, obteve um teor de ácido ascórbico de $134,103\text{mg}/100\text{ml} \pm 0,015$, de $128,270\text{mg}/100\text{ml} \pm 0,026$ e de $126,143\text{mg}/100\text{ml} \pm 0,045$ para a formulação 1 (3% goma arábica + 9% de maltodextrina) nas temperaturas de 140° , 150° e 160° , respectivamente. Já para a formulação 2 (4% goma arábica + 12% maltodextrina), encontrou um teor de $143,636\text{mg}/100\text{ml} \pm 0,050$, de $135,160\text{mg}/100\text{ml} \pm 0,036$ e de $131,960\text{mg}/100\text{ml} \pm 0,036$, nas temperaturas de 140° , 150° e 160° , respectivamente. E na formulação 3 (5% goma arábica + 15% maltodextrina), obteve teor de $146,273\text{mg}/100\text{ml} \pm 0,050$, de $140,440\text{mg}/100\text{ml} \pm 0,036$ e de $137,816\text{mg}/100\text{ml} \pm 0,037$, nas temperaturas de 140° , 150° e 160° , respectivamente.

Almeida (2017) na obtenção do suco de laranja atomizado em *spray dryer*, encontrou um teor de ácido ascórbico de $29,413\text{mg}/100\text{ml} \pm 0,695$, de $31,896\text{mg}/100\text{ml} \pm 1,234$ e de $30,783\text{mg}/100\text{ml} \pm 2,809$ para a concentração de 15% de maltodextrina 20DE nas temperaturas de 140° , 150° e 160° , respectivamente. Já ao usar 20% de maltodextrina, encontrou um teor de $26,546\text{mg}/100\text{ml} \pm 1,897$, de $28,326\text{mg}/100\text{ml} \pm 1,443$ e de $29,383\text{mg}/100\text{ml} \pm 2,188$, nas temperaturas de 140° , 150° e 160° , respectivamente. E utilizando 25% de maltodextrina, obteve teor de $31,470\text{mg}/100\text{ml} \pm 1,398$, de $29,000\text{mg}/100\text{ml} \pm 3,372$ e de $29,463\text{mg}/100\text{ml} \pm 2,113$, nas temperaturas de 140° , 150° e 160° , respectivamente.

Roncada et al. (1977) encontrou para o suco de laranja, de tangerina e de limão, todos desidratados, um teor de ácido ascórbico de $158,1\text{mg}/100\text{ml}$, $56,2\text{mg}/100\text{ml}$ e $31\text{mg}/100\text{ml}$, respectivamente. Já para o suco de laranja, tangerina e limão in natura, obteu-se valores de ácido ascórbico de $43,6\text{mg}/100\text{ml}$, $23,6\text{mg}/100\text{ml}$ e $33,4\text{mg}/100\text{ml}$, respectivamente. Moreira et al. (2012) obteve um teor de ácido ascórbico de $32,40\text{mg}/100\text{ml}$ para o suco in natura de tangerina, e $29,8\text{mg}/100\text{ml}$ para o suco de tangerina obtido da fruta que ficou congelada por 30 dias. Já Cunha et al. (2014) obteve um teor de ácido ascórbico de $34,87\text{mg}/100\text{ml}$, $6,37\text{mg}/100\text{ml}$, e de $5,77\text{mg}/100\text{ml}$ para os sucos de laranja, melancia e abacaxi com hortelã, respectivamente, todos armazenados sob refrigeração de 8°C por 24h.

3.7.2 Análise granulométrica

A distribuição do tamanho de partículas consiste em expressar a frequência da quantidade de partículas sólidas em cada faixa de tamanho, que normalmente é dada em fração mássica ou volumétrica, em função dos diferentes diâmetros de partícula encontrados em uma amostra. A descrição da distribuição do tamanho das partículas é utilizada para caracterizar as propriedades de materiais particulados como pós, suspensões, emulsões e gotas, quanto à sua abrasividade, aglomeração, grau de dispersão, deposição, fluidez, granulação, permeabilidade, sedimentação e turbidez, entre outras características (TONON, 2009).

A distribuição do tamanho de partícula influi de maneira significativa em varias etapas de produção (transporte, compactação, sinterização, etc.) e na microestrutura do material, afetando a resistência mecânica, a densidade e as propriedades térmicas e elétricas dos produtos acabados (PAPINI, 2003). A Tabela 3 mostra os termos usualmente utilizados para classificar os materiais de acordo com a faixa de tamanho de partículas.

Tabela 3 – Termos utilizados para classificar qualitativamente os sólidos quanto ao tamanho

Termo	Faixa de tamanho
Sólido grosseiro	5 – 100 mm
Sólido granular	0,3 – 5 mm
Pó grosseiro	100 – 300 μm
Pó fino	10 – 100 μm
Pó superfino	1 – 10 μm
Pó ultrafino	< 1 μm

Fonte: Campos (2012)

Campos (2012) obteve para o leite em pó desnatado um diâmetro médio de partículas de 252,61 μm , e para o leite em pó integral um diâmetro de 169,36 μm . Tonon (2009), encontrou um diâmetro médio de 13,27 μm , de 16,12 μm , e de 21,35 μm , para o suco em pó de açaí seco em *spray dryer*, nas concentrações de maltodextrina de 10%, 20%, e de 30%, respectivamente. Já Zotarelli (2014) observou para o suco em pó da polpa de manga seca em *spray dryer* uma variação de 0,47 – 549 μm , e de 1,9 – 955 μm com 5% de maltodextrina 10DE, e sem adição de maltodextrina, respectivamente.

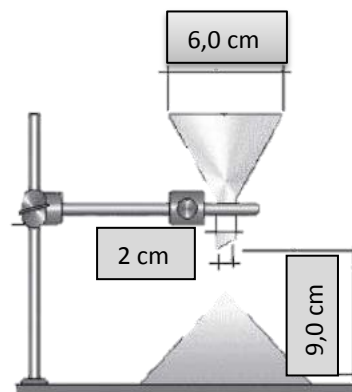
Almeida (2017) em seu trabalho com laranjas, obteve um diâmetro médio de 170,94 μm , para o suco de laranja *in natura*, e de 174,07 μm , 164,44 μm e de 176,29 μm , para o suco de laranja *in natura* acrescido de 15%, 20% e 25% em massa de maltodextrina, respectivamente.

3.7.3 Ângulo de repouso

O ângulo de repouso é definido como o ângulo da superfície livre inclinada de uma pilha de material granulado em relação á base horizontal da pilha. O ângulo não é constante para um determinado material e é dependente da maneira como a pilha é formada. O mesmo sofre influência decisiva pelo tamanho, forma, orientação das partículas e umidade do produto (LOBATO, 2013).

Vários métodos podem ser utilizados para medir o ângulo de repouso das partículas sólidas. Os métodos mais comumente usados são: (a) com o auxílio de um funil fazer um monte cônico em superfície lisa; (b) utilizar uma caixa com um dos lados removíveis; (c) utilizar um cilindro rotativo (CAMPOS, 2012). A Figura 4 mostra o método que consiste na formação do monte cônico, que é o tipo mais utilizado.

Figura 4 – Método de formação do monte cônico



Fonte: Lamolha (2007)

A Tabela 4 mostra a classificação da escoabilidade do pó conforme o valor obtido do ângulo de repouso. Como pode ser observado, para maiores valores de ângulo mais difícil é o escoamento das partículas sólidas. Isto porque, os materiais mais coesivos tendem a deslizar menos, fazendo que o ângulo formado entre o material e a horizontal seja maior em relação ás partículas com menores graus de aderência, que escoam com maior facilidade.

Tabela 4 – Classificação da escoabilidade segundo o ângulo de repouso

Ângulo de repouso (°)	Escoamento
25 – 30	Muito livre
30 – 38	Livre
38 – 45	Médio
45 – 55	Coesivo
Maior que 55	Muito difícil

Fonte: Campos (2012)

Astolfi-filho et al. (2005) obteve um ângulo de repouso de $31,60^\circ$ para o suco de maracujá seco em estufa a 105°C por 24h com 15% em massa de xarope de sacarose. Já Campos (2012) encontrou um ângulo de repouso de $36,3^\circ \pm 2,2$, e de $46,4^\circ \pm 2,0$, para o leite em pó desnatado e integral, respectivamente. Urbano et al. (2009), obteve para o leite de cabra em pó seco em leite de jorro, um ângulo de $45,63^\circ \pm 0,426$, de $49,62^\circ \pm 1,666$, de $47,40^\circ \pm 0,566$, de $38,86^\circ \pm 4,220$, nas temperaturas de 80°C , 90°C e 100°C , respectivamente.

3.7.4 Atividade de água

A água é o constituinte presente em maior quantidade nos alimentos, exercendo influência considerável na palatabilidade, digestibilidade, estrutura e manuseio do material. Praticamente todos os processos deteriorativos que ocorrem nos alimentos são influenciados pela concentração e mobilidade da água em seu interior (TONNON, 2009).

Dentro do alimento, a água pode ser encontrada em duas formas: água fracamente ligada ao substrato, facilmente eliminada, que funciona como solvente, permitindo o crescimento dos microrganismos e reações químicas, e água combinada, fortemente ligada ao substrato, mais difícil de ser eliminada, e que não é utilizada como solvente, não permitindo o desenvolvimento microbiano e retardando as reações químicas (TONNON, 2009).

O princípio da atividade de água consiste na a_w é a pressão parcial de água na amostra ou a pressão de vapor da solução (solvente + soluto), sobre a pressão de vapor na água pura (solvente), em temperatura constante (GARCIA, 2004).

A atividade de água é um índice de grande importância para os alimentos obtidos por *spray dryer* devido a sua influencia sobre a vida útil do pó produzido. Alta atividade de água indica mais água livre disponível para as reações bioquímicas e, conseqüentemente, vida útil mais curta. Geralmente alimentos com a_w menores que 0,6 são considerados microbiologicamente estáveis e a ocorrência de deteriorações é induzida por reações químicas ao invés de microrganismos (BARBOSA, 2010).

Ferrari et al. (2012) obteve uma atividade de 0,283 para o suco de amora-preta em pó seco em *spray dryer* com uma temperatura de entrada de 160°C e com 15% em massa de maltodextrina. Já Barbosa (2010) encontrou uma atividade de 0,3363, e de 0,2613 para o suco de frutas em pó (manga, cajá, mamão) seco em *spray dryer*, com temperatura do ar de secagem de 155°C e 165°C , respectivamente. Tonon (2009), obteve uma atividade de $0,189 \pm 0,002$, de $0,244 \pm 0,002$, de $0,245 \pm 0,002$, e de $0,229 \pm 0,006$, para o suco de açaí em pó seco em *spray dryer*, usando como agente carreador fécula de mandioca, goma arábica, maltodextrina 20DE e 10DE, respectivamente.

Almeida (2017) na obtenção do suco de laranja atomizado em *spray dryer*, encontrou uma atividade de $0,284 \pm 0,012$, de $0,259 \pm 0,005$ e de $0,216 \pm 0,013$ para a concentração de 15% de maltodextrina 20DE nas temperaturas de 140°, 150° e 160°, respectivamente. Já ao usar 20% de maltodextrina, encontrou uma atividade de $0,298 \pm 0,022$, de $0,313 \pm 0,002$ e de $0,295 \pm 0,012$, nas temperaturas de 140°, 150° e 160°, respectivamente. E utilizando 25% de maltodextrina, obteve atividade de $0,275 \pm 0,015$, de $0,275 \pm 0,015$ e de $0,262 \pm 0,026$, nas temperaturas de 140°, 150° e 160°, respectivamente.

Moura (2017) em seu trabalho de secagem por atomização do caju encontrou uma atividade de $0,252 \pm 0,001$, de $0,248 \pm 0,002$ e de $0,227 \pm 0,002$ para formulação 1 (3% goma arábica + 9% de maltodextrina) nas temperaturas de 140°, 150° e 160°, respectivamente. Já para a formulação 2 (4% goma arábica + 12% maltodextrina), encontrou uma atividade de $0,241 \pm 0,003$, de $0,237 \pm 0,001$ e de $0,206 \pm 0,002$, nas temperaturas de 140°, 150° e 160°, respectivamente. E na formulação 3 (5% goma arábica + 15% maltodextrina), obteve atividade de $0,220 \pm 0,002$, de $0,218 \pm 0,003$ e de $0,196 \pm 0,002$, nas temperaturas de 140°, 150° e 160°, respectivamente.

3.7.5 Densidade aerada

A densidade aparente aerada é definida pela relação obtida pela massa de produto vertida por derramamento lento em cilindro graduado até volume determinado sem perturbar ou alterar o empacotamento (OLIVA, 2016), incluindo a contribuição do volume vazio entre partículas. Assim, a densidade depende da densidade das partículas e do arranjo espacial das partículas do sistema (JÚNIOR, 2014).

Oliveira et al. (2013) encontrou para pó da polpa de morango atomizada com Maltodextrina 5DE, 10DE, goma arábica e consul, uma densidade de $0,41\text{g/cm}^3$, $0,40\text{g/cm}^3$, $0,47\text{g/cm}^3$ e de $0,52\text{g/cm}^3$, respectivamente. Já Astolfi-filho et al. (2005) obteve um densidade de $0,652\text{g/cm}^3$ para o suco de maracujá seco em estufa a 105°C por 24h com 15% em massa de xarope de sacarose. Oliveira et al. (2006) encontrou uma densidade de $1,38\text{g/cm}^3$ para o pó da pitanga formulada com 15% de maltodextrina seca por aspersão.

3.7.6 Densidade compactada

A densidade aparente na condição de máximo empacotamento é obtida pela relação entre a massa de produto já determinada e o volume compactado da amostra por meio de procedimento padronizado de impactos até que se obtenha volume constante (OLIVA, 2016).

A compactação visa consolidar pós e reduzir a fração de vazios (poros), isto é, elevar a densidade e aumentar a ligação entre as partículas (NEVES, 2005).

Segundo Júnior (2014), quanto mais afastada do formato esférico for a partícula, menor é a sua densidade compactada da qual ele faz parte. Isso ocorre devido ao que se chama de fricção interparticular, que se origina no atrito entre as partículas de diferentes morfologias. Este efeito é diretamente relacionado ao tamanho da partícula, quanto menor for o tamanho da partícula irregular, maior esse efeito, em função da maior área superficial específica. Geralmente a densidade se eleva com o valor do quociente entre os tamanhos (diâmetro) das partículas maiores e os das menores.

Campos (2012) obteve uma densidade compactada de $0,465 \text{ g/cm}^3$, e de $0,595 \text{ g/cm}^3$, para o leite em pó desnatado e integral, respectivamente. Urbano et al. (2009), obteve para o leite de cabra em pó seco em leite de jorro, um densidade compactada de $0,421 \pm 0,016 \text{ g/cm}^3$, de $0,379 \pm 0,004 \text{ g/cm}^3$, de $0,132 \pm 0,016 \text{ g/cm}^3$, de $0,113 \pm 0,044 \text{ g/cm}^3$, nas temperatura de 80°C , 90°C e 100°C , respectivamente. Lima (1987) obteve uma densidade compactada de $0,46 \text{ g/ml}$ para o suco de banana em pó probiótico.

3.7.7 Densidade de partícula

Define-se a densidade de partícula como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra e o volume ocupado por suas partículas sólidas. A escolha do método para a determinação da densidade de partícula leva em consideração aspectos como quantidade do material a ser analisado, disponibilidade de equipamentos e exatidão requerida na determinação bem como praticidade e tempo de processamento. Os métodos mais usuais para determinação da densidade de partícula baseiam-se no deslocamento de um volume de líquido ou ar por uma amostra de massa conhecida (GUBIANI et al., 2006).

O primeiro método é o mais simples e envolve a imersão de uma quantidade de partículas em um líquido, comumente água, hexano ou tolueno. Assim, na escolha do líquido a ser utilizado deve-se levar em consideração a interação existente entre o sólido e o líquido, com o intuito de evitar que esse seja facilmente absorvido, influenciando na determinação da densidade. Devido a baixa tendência de penetrar no interior dos sólidos, solventes orgânicos tem sido utilizados para a determinação da densidade de partículas de matérias (LIMA, 2013).

Tonon (2009), obteve uma densidade de partícula para o suco de açaí em pó seco em *spray dryer* de $1,531 \pm 0,004 \text{ g/cm}^3$, de $1,511 \pm 0,004 \text{ g/cm}^3$, de $1,491 \pm 0,008 \text{ g/cm}^3$, e de

1,514 ± 0,001 g/cm³, usando como agente carreador maltodextrina 10DE, 20DE, goma arábica, e fécula de mandioca, respectivamente. Já Fernandes et al. (2013) observou uma variação de 0,93 – 1,19 g/ml na densidade de partícula para o óleo de alecrim microencapsulado por secagem por atomização. Souza et al. (2015) obteve para o suco de atemoia em pó desidratada com 25% de maltodextrina por aspersão uma densidade de partícula de 1,419 g/cm³.

3.7.8 Fluxabilidade e coesão

A fluidez de um pó é um índice de importância tecnológica que pode ser caracterizada pelos índices de Hausner e de Carr, também conhecido como índice de compressibilidade. Estes índices são normalmente obtidos de forma manual por meio da determinação da densidade aerada (OLIVA, 2016).

A coesão dos pós é analisada pela Razão de Hausner (HR), que é definida como sendo a razão entre a densidade *bulk* compactada e a densidade *bulk* aerada. Analisando-se a Tabela 5, pode-se observar que para maiores razões de Hausner, mais difícil será o escoamento das partículas. É necessário salientar que o HR caracteriza as condições de atrito numa situação de movimento das partículas, e não estatisticamente (CAMPOS, 2012). Já a Tabela 6 apresenta a classificação da fluxabilidade dos pós, conforme o Índice de Carr (IC %).

Tabela 5 – Escoabilidade de pó segundo a razão de Hausner

Razão de Hausner (HR)	Escoamento
Menor que 1,25	Fácil, livre
1,25 – 1,4	Médio
Maior que 1,4	Coesivo, difícil

Fonte: Campos (2012)

Tabela 6 – Fluxabilidade do pó segundo o índice de Carr

Índice de Carr (IC %)	Fluxabilidade
Menor que 10%	Excelente fluxo
11 – 15%	Fluxo bom
16 – 20%	Fluxo fraco
21 – 31%	Fluxo pobre
Maior que 32%	Fluxo muito pobre

Fonte: Garcia et al. (2012)

Campos (2012) obteve um Índice de Hausner (HR) de 1,24, e de 1,32 para o leite em pó desnatado e integral, respectivamente. Já Fernandes et al. (2013) observou uma variação de 23,09 – 40,22% no Índice de Carr, e de 1,30 – 1,67 no Índice de Hausner para o óleo de alecrim microencapsulado por secagem por atomização. Urbano et al. (2009), obteve para o leite de cabra em pó seco em leite de jorro, um HR $1,187 \pm 0,033$, de $1,240 \pm 0,021$, de $1,323 \pm 0,016$, de $1,135 \pm 0,044$, nas temperaturas de 80°C, 90°C e 100°C, respectivamente. Lima (1987) obteve um IC de 0,33, e HR de 1,39 para o suco de banana em pó probiótico.

3.7.9 Isoterma

As características de sorção influenciam diretamente a estabilidade no armazenamento de produtos desidratados e são ferramentas uteis para a determinação das interações termodinâmicas entre a água e os produtos em pó, pois fornecem informações para avaliar o processo de secagem, mistura e armazenamento (COSTA, 2013). Para muitas substâncias, as curvas de isotermas de dessorção (ganho de umidade) são marcadamente deslocadas para a esquerda da curva de isotermas de sorção (retirada de umidade). A defasagem entre as isotermas de dessorção e sorção é chamada de histerse (RIBEIRO, 2006).

As características das isotermas de sorção, portanto, ilustram a capacidade de um produto de reter ou liberar água para o meio que o circunda, quando colocado em atmosferas de umidade relativa controlada a uma dada temperatura (AMBROS, 2013). Os pontos para o levantamento da isoterma de um alimento devem ser obtidos experimentalmente e então graficados. A partir disto, a curva obtida pode ser modelada como uma equação (FADINI et al., 2006).

O método mais amplamente empregado para determinação do conteúdo de umidade de equilíbrio de um material é o gravimétrico. Neste método, as medidas de umidade da amostra até que esta atinja o valor de equilíbrio são realizadas mantendo-se constantes a temperatura e a umidade relativa do ar. O ar pode ser circuncidado (método dinâmico) ou se encontrar estagnado (método estático). Tradicionalmente, entretanto, o método utilizado na medição das isotermas de sorção é o método estático. Onde a obtenção experimental pode ser feita com a utilização de soluções ácidas de concentrações variadas ou soluções salinas saturadas (LIMA, 2013). Para isso usa-se a cinética de sorção de vapor (DVS).

O modelo matemático aplicado para a cinética de sorção de vapor é o modelo de cinética exponencial paralela (PEK). Esse modelo mostra a existência de dois mecanismos distintos para a troca de vapor de água, são eles: processos rápidos e lentos, que são atribuídos a diferentes locais de sorção (KOHLENER et al., 2006)

A equação de PEK é uma exponencial dupla da forma (Equação 1):

$$y = y_0 + A1 x \left(1 - \exp\left(-\frac{x}{t1}\right)\right) + A2 x \left(1 - \exp\left(-\frac{x}{t2}\right)\right) \quad (1)$$

Onde y é o teor de umidade no tempo infinito e y_0 é o teor de umidade no tempo inicial. O processo rápido está relacionado ao tempo característico $t1$ e ao teor de umidade $A1$ no tempo associado e o processo lento, aos valores $t2$ e $A2$. A soma $(y_0+A1+A2)$ deve ser igual ao teor de umidade da amostra no tempo infinito de exposição à umidade relativa determinada (ZAIHAN et al., 2010).

3.7.10 Molhabilidade

A molhabilidade da superfície, uma das propriedades mais cruciais da superfície de materiais, é um parâmetro chave para compreensão das interações dos materiais com seu meio circundante e para as suas aplicações. Uma das definições de molhabilidade é que esta propriedade representa uma manifestação macroscópica das interações moleculares que ocorrem na interface entre um sólido e um líquido. Ainda, outra definição a descreve como o tempo necessário para que uma quantidade conhecida de sólido seja completamente molhada por um líquido (HAMMES,2013). A molhabilidade de um alimento em pó é uma característica muito importante, pois influencia em várias etapas do processo produtivo do alimento, como aglomeração, granulação, revestimento, assim como em suas características finas, como dispersabilidade e solubilidade (MATTOS, 2012).

Se a superfície for composta principalmente por grupo polares, ela apresentará afinidade pela água (hidrofílica) e elevadas forças adesivas. Já se a superfície for formada principalmente por grupos apolares, esta apresentara forças de adesão mais fracas com a água, sendo hidrofóbica (MATTOS, 2012). A molhabilidade pode ser determinada através de diversas técnicas, entretanto as que têm maior destaque são a gota séssil, técnica de Washburn e teste de molhamento estático. O teste de molhamento estático é uma análise simples e prática, muito utilizada para avaliar a molhabilidade de alimentos em pó (HAMMES, 2013).

A técnica de gota séssil em geral é utilizada quando o pó é homogêneo e as partículas são pequenas. Onde, uma gota de um líquido devidamente purificado é depositada sobre a superfície de um sólido. A gota é observada com uma lente de baixo aumento e o ângulo de contato é medido através de um goniômetro. Se a gota se esparramar por toda a superfície do material, seu ângulo de contato será de aproximadamente zero, mas, se o espalhamento for parcial o ângulo de contato variará de 0 a 180 graus (OLSZEVSKI, 2013).

A técnica de Washburn é baseada na ascensão capilar de um líquido em um leito de partículas. O princípio é a comparação da taxa de penetração de diferentes líquidos: um líquido capaz de molhar perfeitamente o sólido; um segundo líquido para o qual se pretende determinar o ângulo de contato. A determinação do ângulo de contato consiste em duas análises. A primeira para determinar a constante de capilaridade c , e a segunda para determinação do ângulo de contato com o líquido teste (NASCIMENTO, 2011).

Astolfi-filho et al. (2005) obteve um tempo de molhabilidade de 60s para o suco de maracujá seco em estufa a 105°C por 24h com 15% em massa de xarope de sacarose. Oliveira et al. (2006) encontrou um tempo de molhamento de 239,82s para o pó da pitanga formulada com 15% de maltodextrina seca por aspensão. Já Tonon (2009), obteve um tempo de molhamento para o suco de açaí seco em *spray dryer* de $8,61 \pm 0,37$ min, de $6,23 \pm 0,45$ min, de $10,77 \pm 0,57$ min, e de $2,67 \pm 0,24$ min, usando como agente carreador maltodextrina 10DE, 20DE, goma arábica, e fécula de mandioca, respectivamente.

3.7.11 pH

O pH que significa potência de hidrogênio, permite-nos descrever o caráter ácido ou base que predomina em meio aquoso, tendo em conta seu valor determinado numa escala de 0 a 14. Para a temperatura de 25°C, um meio aquoso será ácido se tiver pH de 0 a 7, será básico se o pH for de 7 a 14 e será neutro para pH igual a 7 (MORAIS, 2008). O pH das frutas gira em torno de 3,5. Esse valor expressa a força dos ácidos presentes no suco vegetal e corresponde mais bem a sensação de sabor do que o teor total de ácidos (VICENZI, 2012)

O pH é, sem dúvida, o fator mais importante a ser considerado, porque é em função dele que o produto sofrerá um tratamento térmico mais ou menos severo. Os microrganismos de importância para a saúde pública, isto é, aquelas bactérias que causam infecção ou intoxicação alimentar não podem se desenvolver em pH 4,5 ou menor. Este é o pH mágico dos alimentos - um valor de pH abaixo do qual os alimentos são considerados livres de deterioração por bactérias produtoras de toxinas (VICENZI, 2012). Sendo que os alimentos são divididos em três grupos de pH: alimentos altamente ácidos ($\text{pH} < 4$), alimentos ácidos ou moderadamente ácidos ($4,0 < \text{pH} < 4,5$), e alimentos pouco ácidos ($\text{pH} > 4,5$) (GOMES, 2006).

Moreira et al. (2012) encontrou um pH de 4,07 para o suco de tangerina *in natura*. Já Ferrari et al. (2012) obteve um pH de 3,31 para a polpa de amora-preta. Oliveira et al. (2006)

encontrou pH de 3,05, e de 3,04 para a polpa de pitanga integral e formulada com 15% de maltodextrina, respectivamente.

3.7.12 Sólidos solúveis (° Brix)

O índice de refração é uma propriedade física importante de sólidos, líquidos e gases. A medida de índice de refração pode ser usada para determinar a concentração de uma solução, pois o índice de refração dela varia com a concentração. A refratometria na escala Brix se constitui em um método físico para medir a quantidade de sólidos solúveis presentes em uma amostra. A escala Brix é calibrada pelo número de gramas de açúcar contidos em 100g de solução. Quando se mede o índice de refração de uma solução de açúcar, a leitura em percentagem de Brix deve combinar com a concentração real de açúcar na solução (CAVALCANTE et al., 2006).

Suco concentrado é o suco parcialmente desidratado. Este, quando reconstituído, deverá conservar os teores de sólidos solúveis originais do suco integral, ou o teor de sólidos solúveis mínimos, estabelecido nos respectivos PIQ para cada tipo de suco. O Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ) do suco de laranja definido pelo MAPA estabelece a concentração mínima de sólidos solúveis em 10,5° Brix (FIGUEIRA et al., 2010).

Moreira et al. (2012) obteve um °Brix de 9,5 para o suco de tangerina *in natura*. Já Ferrari et al. (2012) encontrou um °Brix de 6,77 para a polpa de amora-preta. Cunha et al. (2014), obteve um °Brix de 8,5 , 8,3 e 8,3 para o suco de laranja *in natura*, suco de melancia *in natura*, e suco de abacaxi com hortelã *in natura*, respectivamente.

3.7.13 Solubilidade

A solubilidade é a dissolução das partículas pelo líquido, desde que estas sejam solúveis. É um parâmetro utilizado para verificar a capacidade do pó para manter-se em mistura homogênea com a água, ou seja, a estabilidade da mistura, que frequentemente não constitui uma solução, mas sim uma emulsão e/ou suspensão, cujo aumento da estabilidade é comumente referido como “solubilização” (VISSOTO et al., 2006).

A maioria das técnicas propostas para determinação da solubilidade pode ser enquadrada em uma das duas classes gerais, as que estimam a quantidade de material que é dissolvido e as que determinam a quantidade de material insolúvel (VISSOTO et al., 2006).

Cavalcante et al. (2017) em seu trabalho para estabelecer a melhor condição de secagem em *spray dryer*, visando a obtenção de polpa de graviola em pó, obteve na temperatura de entrada de 169°C com 17% de maltodextrina 20DE uma solubilidade de

55,74% \pm 3,24. Já Felix (2014) obteve uma solubilidade de 37,38% \pm 0,25, usando 15% de goma arábica e 15% de maltodextrina na secagem por atomização do óleo essencial de canela. E Souza (2009) encontrou uma solubilidade de 60,15% \pm 0,001, para a secagem em leite de jorro de uma mistura de frutas tropicais (manga, umbu, seriguela).

3.7.14 Teor de sólidos totais

Segundo a Norma Técnica Interna - SABESP (1999), sólidos totais são todas as substâncias que permanecem na capsula após a total secagem de um determinado volume de amostra.

Os sólidos totais pode ser conceituado como sendo todos os constituintes das matérias-primas alimentícias que não a água, e as substâncias mais voláteis que vaporizam a temperatura inferior ou igual a 105 °C. A matéria seca ou sólidos totais é composta de proteínas, lipídios, glicídios, sais minerais, vitaminas, ácidos orgânicos, pigmentos e outras substâncias fisiológicas ativas ou não (CHAVES et al., 2004).

Oliveira et al. (2013), obteve para a polpa de morango um teor de sólidos totais de 6,79. Oliveira et al. (2006) encontrou um teor de sólidos totais de 6,93, e de 14,60 para a polpa de pitanga integral e formulada com 15% de maltodextrina, respectivamente. Já Almeida (2017) obteve para o suco de laranja *in natura* um teor de sólidos totais de 8,51.

3.7.15 Umidade

A umidade é definida como a quantidade de moléculas de água presente em um produto, podendo englobar tanto a água ligada como a água não ligada (AMBROS, 2013). Os frutos são alimentos que apresentam elevados teores de umidade, e por isso, estão sujeitos a sofrer inúmeras alterações uma vez que a água é o principal veículo para o processamento de alterações de natureza química e bioquímica nos alimentos. A determinação de umidade é uma das medidas mais importante e utilizadas na análise de alimentos. A umidade de um alimento está relacionada com sua estabilidade, qualidade e composição, e pode afetar o armazenamento, embalagens e processamento (CHAVES et al., 2004).

Gomes et al. (2004) obteve uma umidade de 4,07% para o pó da acerola desidratado em leite de jorro com 10% de maltodextrina. Já Soares et al. (2001), obteve 7,24% de umidade para o pó da acerola desidratada pelo processo de “Foam-mat”. E Santos et al. (2014), obteve umidade de 5,69% para o pó da goiaba atomizada com 10% de maltodextrina.

Nesta revisão foi abordado a fruta laranja, com suas principais características, bem como sua produção nacional. Mencionando alguns aspectos relevantes do suco da mesma em estado de *in natura*. Também foi abordada a conservação tanto do suco, como da fruta por congelamento, explicitando os métodos e vantagens, bem como algumas considerações sobre as estruturas de cristais de gelo que se forma nesse tipo de conservação. Desta maneira para poder avaliar a conservação, visando a preservação das propriedades físico-químicas do suco congelado e do suco extraído da fruta congelada é necessário obter-se esses produtos em forma de pó, bem como do suco *in natura* também para comparação, através de técnicas de secagem. No presente trabalho deu-se maior destaque para a secagem em *spray dryer*, que basicamente transforma um produto líquido em um produto na forma de pó. Porém, ao alto teor de açúcar que o suco de laranja possui, e a alta temperatura durante o processo de secagem, as partículas de pó obtidos podem aglomerar-se nas paredes do secador, então se abordou a necessidade da adição de um agente carreador antes da secagem, a maltodextrina, que ajuda na secagem de alimentos difíceis de desidratar, como os sucos de frutas, possui uma alta solubilidade, baixa higroscopicidade, baixo custo e tem a finalidade de encapsular as gotículas por aspersão em *spray dryer*, aumentando o rendimento do processo.

Então o conhecimento das propriedades físico-químicas dos produtos em pó faz-se necessário para observar o efeito do congelamento no suco *in natura* congelado, e da fruta congelada e extraída o suco em relação ao suco *in natura*. Para constatar isso, abordou-se as algumas análises, tais como: teor de ácido ascórbico (vitamina C), distribuição granulométrica, ângulo de repouso, atividade de água, densidade aerada, densidade compactada, densidade de partícula, fluxabilidade e coesão, isotermas, molhabilidade, pH, sólidos solúveis (°Brix), solubilidade, teor de sólidos totais e umidade. O processo de obtenção de sucos de frutas em forma de pó é uma alternativa importante de forma nutricional, facilitando o transporte e armazenamento, devido ao volume compactado apresentado por esse produto.

4. METODOLOGIA

4.1. Materiais

- Laranja *in natura*
- Maltodextrina 20DE

As laranjas *in natura* e em temperatura ambiente foram adquiridas no Assaí Atacadista na cidade de João Pessoa- PB. E a maltodextrina 20DE, usada como agente carreador no presente trabalho, foi adquirida da Pryme Foods, Sorocaba-SP.

4.2. Obtenção da amostra

O suco de laranja foi preparado em espremedor de laranja doméstico, como mostra a Figura 5. Onde se fez necessário a utilização de aproximadamente 80 laranjas para obter 5L de suco.

Figura 5 – Preparo do suco de laranja



Fonte: A autora (2018)

Dos 5L de suco obtido, 2,5 L de suco *in natura* foram utilizados para obtenção do suco em pó e os outros 2,5 L de suco, armazenados no congelador por 30 dias para posterior obtenção do suco em pó. Juntamente com o suco armazenado, acondicionou-se 40 laranjas para extrair o suco e obter o pó da laranja após o congelamento para realizar a caracterização físico-química.

Para o suco extraído, 2L foram utilizados na secagem com adição de maltodextrina, para obtenção do suco em pó. E 0,5L foram usados para fazer as análises iniciais.

4.3. Secagem do suco de laranja

Após a obtenção do suco de laranja, acrescentou-se 15% em massa de maltodextrina, de acordo com a porcentagem de teor de sólidos totais calculado (23%) necessários para a secagem. A diluição da maltodextrina se deu em agitador mecânico Fisatom modelo 713D com rotação de 600 rpm por 20 minutos.

Figura 6 – Diluição da maltodextrina em agitador



Fonte: A autora (2018)

A secagem foi realizada em *spray dryer* e escala piloto modelo LM – SD 5.0. As condições da secagem foram obtidas por Almeida (2017) e esta apresentada na Tabela 7:

Tabela 7 - Condições operacionais da secagem

Condições de operação	Valores
Vazão de alimentação (L/h)	1,5
Vazão do soprador (m ³ /min)	2,8
Vazão do pulverizador (L/min)	35
Temperatura de entrada (°C)	150
Pressão (bar)	5

Fonte: Almeida (2017) patente

Figura 7 – Secagem em secador



Fonte: Almeida (2018) patente

No decorrer do trabalho, o suco de laranja *in natura*, foi denominado como suco *in natura*. O suco de laranja *in natura* e congelado, como suco congelado. E o suco de laranja obtido da fruta congelada, como suco da fruta congelada. O suco *in natura* obtido em pó, o suco de laranja congelado obtido em pó, e o suco da fruta congelada obtido em pó, foram chamados como suco *in natura* em pó, suco congelado em pó, e suco da fruta congelada em pó, respectivamente.

Os sucos de laranja obtidos em pó, após a secagem, foram acondicionados em recipientes de vidro bem vedados, a fim de evitar o contato da amostra com a umidade ambiente e acarretar perda de material, para então realizar as caracterizações físico-químicas descritas abaixo.

4.4. Características físico-químicas

Todas as análises descritas a seguir, foram realizadas em triplicata, com exceção das análises de análise granulométrica, ângulo de escoamento, densidade compactada, isoterma, molhabilidade, pois tais análises expõem as amostras ao contato com a umidade ambiente por prolongado tempo, tornando assim as mesmas pegajosas, o que acarreta perda de material.

Os experimentos em triplicata se fez necessário para aplicação dos resultados no programa OringiPro 8.0 para obtenção do método estatístico de Teste t com índice de

confiança de 95%, para analisar se as medidas são estatisticamente confiáveis. Todos os valores do t obtidos nas análises se encontram no APÊNDICE A.

4.4.1. Ácido ascórbico (Vitamina C)

A determinação de ácido ascórbico se deu segundo a metodologia do IAL (2008). Em que se faz necessário a realização de uma titulação com 2,6-diclorofenol indofenol, até a obtenção de uma cor rosa claro que permaneça por 15 segundos.

A solução de 2,6-diclorofenol deve primeiramente ser padronizada com 5mL ácido oxálico 2% e 5mL de solução padrão de ácido ascórbico, até que se obtenha cor rosa. A mesma deve ser guardada em geladeira e ser padronizada a cada nova preparação. Essa padronização se faz necessária para determinar o fator do corante pela Equação (2)

$$F = \frac{\text{mg de ácido}}{V_{\text{titulação}}} \quad (2)$$

Em que:

F = fator do corante

mg de ácido = mg de ácido usado na padronização (0,5mg)

$V_{\text{titulação}}$ = volume gasto na titulação (mL)

Obtém-se a solução padrão de ácido ascórbico pela pesagem de 100mg (0,1g) de ácido ascórbico e completa até 100mL com solução de ácido oxálico 2%, então dilui 10mL dessa solução com 100mL de ácido oxálico 2%.

A solução de 2,6 – diclorofenol indofenol é obtida pela dissolução de 50mg de sal sódico de 2,6-diclorofenol indofenol em 150ml de água destilada quente, contendo 42mg de bicarbonato de sódio. Então esfria e dilui com a água destilada até 250ml.

Para determinar o ácido ascórbico na amostra de suco, faz-se uma solução com 10mL de suco e 100mL da solução de ácido oxálico 2%. Então se toma uma alíquota de 10mL dessa solução e faz a titulação com a solução de 2,6 – diclorofenol indofenol, onde o volume gasto deve ser entre 3-5mL. A vitamina C é determinada pela seguinte equação (3):

$$C(\text{mg/mL}) = \frac{FXVX100}{A} \quad (3)$$

Em que:

C = concentração de ácido ascórbico (mg/mL)

V = volume gasto na titulação (mL)

A = volume de amostra usado na titulação (fator de diluição – 1mL)

Fez-se as análises do suco *in natura* sem e com maltodextrina, do suco de laranja congelado sem e com maltodextrina, e do suco da fruta congelada sem e com maltodextrina. Bem como dos sucos em pó reconstituído com água destilada para restituir o teor de sólidos totais antes da secagem.

4.4.2. Análise granulométrica

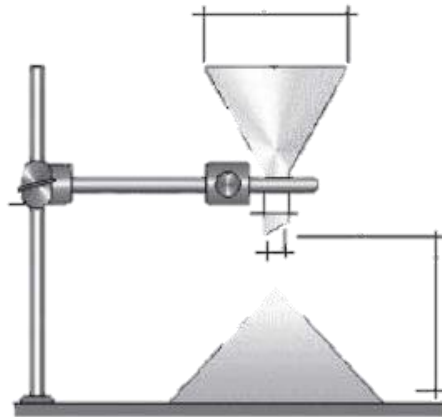
A análise granulométrica por difração de laser utiliza o método de dispersão de partículas associado com um processo de medida óptica através de difração de laser. Neste método, é combinada a relação proporcional entre a difração do laser e a distribuição de tamanhos de partículas (FERREIRA, 2005). É uma técnica de fácil operação, apresenta rapidez de análise e ampla faixa de tamanhos, constituindo-se em uma técnica popular para caracterizar distribuições de tamanho de partículas, dispersas tanto em meio líquido quanto em forma de pó seco (INSTRUTÉCNICA, 2009).

Operando em modo seco, os pós foram dispersos através de vibração mecânica sobre jato de ar comprimido com 2500 mb de pressão. A dispersão tem período de 15s. Após a dispersão, a coleta de dados dura 5s. O equipamento utilizado foi o CILAS 1090LD. A análise via seca, que vai de 0,1 até 500 microns, foi realizado no suco *in natura* em pó, suco congelado em pó, e no suco da fruta congelada em pó.

4.4.3. Ângulo de repouso

O ângulo de repouso foi determinado conforme a metodologia de Campos (2012), através do escoamento do material particulado a partir de um funil para uma superfície lisa, como mostra a Figura 8. O funil tinha diâmetro de saída de 2 cm. A distância entre o orifício de descarga do funil e a base da superfície foi de 9 cm. Mediu-se o ângulo com o auxílio de um transferidor, do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó, e do suco da fruta congelada em pó.

Figura 8 – Método para análise do ângulo de escoamento



Fonte: Lamolha (2007)

4.4.4. Atividade de água

Para a análise da atividade de água, usou-se o equipamento Novasina LabMaster AW com precisão de +/- 0,003, numa temperatura de 30°C. Determinou-se a atividade de água do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó, e do suco da fruta congelada em pó.

4.4.5. Densidade aerada

Para determinação da densidade aerada, tomou-se a metodologia Jinapong et. al. (2008) como base, em que se transfere 20g do pó obtido do suco para proveta graduada de 100mL, e sem mexer na mesma, observa o volume que tal massa ocupa. A densidade aerada é calculada pela Equação (4):

$$D_a = \frac{M}{V_a} \quad (4)$$

Em que:

D_a = densidade aerada (g/mL)

M = massa de pó pesada (20g)

V_a = volume aparente ocupado

Foi analisada a densidade aerada do pó obtido do suco *in natura*, suco congelado e suco da fruta congelada.

4.4.6. Densidade compactada

Para a determinação da densidade compactada, tomou-se como base a metodologia de Goula e Adamopoulos (2008), em que transfere 20g do pó do suco para proveta graduada de 100ml, e em seguida a proveta é levantada e soltada manualmente sobre seu próprio peso a uma distância vertical de 10cm até que se observe diferença insignificativa no volume entre as batidas sucessivas. São executadas batidas na seguinte ordem: 30-50-100-150-200 batidas, e sempre aumentando mais 50, até que o volume não mais varie. A densidade compacta é calculada segundo a Equação (5):

$$D_c = \frac{M}{V_c} \quad (5)$$

Em que:

D_c = densidade compactada (g/mL)

M = massa de pó pesada (20g)

V_p = volume aparentemente constante ocupado após sucessivas batidas

Foi analisada a densidade compactada do pó obtido do suco *in natura*, suco congelado e suco da fruta congelada.

4.4.7. Densidade de partícula

A densidade de partícula foi determinada segundo a metodologia de Krokida (2001) Onde se pesa aproximadamente 1g da amostra em picnômetro de 50mL, e em seguida acrescenta-se Tolueno PA até que o mesmo transborde. Para calcular a densidade de partícula, faz-se necessário a utilização da Equação (6):

$$D_p = \frac{m_2 - m_1}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)} \quad (6)$$

Em que:

D_p = densidade de partícula (g/mL)

m_1 = peso do picnômetro vazio

m_2 = peso do picnômetro mais amostra

m_3 = peso do picnômetro mais amostra mais tolueno

m_4 = peso do picnômetro mais tolueno

Analisou-se o pó obtido do suco *in natura*, do suco congelado e do suco da fruta congelada.

4.4.8. Fluxabilidade e Coesão

A fluxabilidade e a coesão dos sucos em pó foram avaliadas em termos de Índice de Carr (IC) e Razão de Hausner (HR), respectivamente, segundo a metodologia de Jinapong et al. (2008). Tanto a IC quanto a HR foram calculados a partir das densidades aerada (D_a) e compactada (D_c) dos pós usando as Equações 7 e 8 da seguinte maneira:

$$IC = \frac{D_c - D_a}{D_c} \quad (7)$$

$$HR = \frac{D_c}{D_a} \quad (8)$$

4.4.9. Isoterma

As análises isotérmicas foram realizadas através da medição da mudança na massa de uma amostra exposta a uma atmosfera com umidade relativa de aproximadamente 75%. Os dados sobre a alteração da massa foram adquiridos a cada variação da mesma em 0,05g por um período de 24 horas, sendo as isotermas validas apenas no tempo de aquisição.

O modelo matemático aplicado foi o PEK, que consiste em uma equação exponencial dupla. O ajuste da curva não linear aos dados experimentais da curva de adsorção foi obtido com a função “ExAssoc” (Equação 9) usando o software OriginPro8.

$$y = y_0 + A1 x \left(1 - \exp\left(-\frac{x}{t1}\right) \right) + A2 x \left(1 - \exp\left(-\frac{x}{t2}\right) \right) \quad (9)$$

Em que:

y = teor de umidade no tempo infinito de exposição da amostra a uma umidade relativa constante

y_0 = teor de umidade de amostra no tempo zero

$A1, A2$ = conteúdos de umidade associados

$t1, t2$ = tempos característicos que representam processos rápidos e lentos, respectivamente

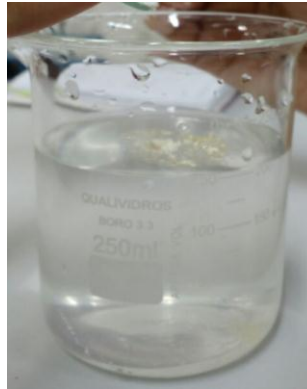
Foi analisada a isoterma do pó obtido do suco *in natura*, suco congelado e suco da fruta congelada.

4.4.10. Molhabilidade

A molhabilidade foi determinada de acordo com a metodologia de Fernandes et al. (2013), de acordo com o teste de molhamento estático. Onde 1g do suco em pó obtido é transferido para Becker com 250mL de água destilada, observando qual o tempo necessário para todas as partículas submergirem na água.

Fez-se a análise de molhabilidade para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó, e o suco da fruta congelada em pó.

Figura 9 – Análise da molhabilidade



Fonte: A autora (2017)

4.4.11. pH

O pH foi medido através de um phmetro da marca Analyser do modelo pH 300. Fez-se as análises do suco *in natura* sem e com maltodextrina, do suco de laranja congelado sem e com maltodextrina, e do suco da fruta congelada sem e com maltodextrina. Bem como dos sucos em pó reconstituído com água destilada para restituir o teor de sólidos totais antes da secagem.

4.4.12. Rendimento

O rendimento do processo foi estimado tomando a vazão de entrada no processo de secagem que foi de 1,5 L/h como citado na Tabela 6, o tempo de secagem para cada condição de temperatura e cada concentração de agente carreador adicionado foi de 30 minutos, dessa forma com a quantidade de sólidos antes do processo (teor de sólidos do suco somado a

porcentagem de maltodextrina adicionada) pode-se estimar a massa de sólidos que entrou no secador e calcular o rendimento com a massa obtida ao fim do processo de secagem. Assim, o cálculo do rendimento pode ser feito segundo Alves (2016) pela Equação 10.

$$\text{Rendimento} = \frac{A}{B} \times 100 \quad (10)$$

Em que:

A = a massa de pó obtido após o processo, g;

B = a massa total de sólidos presentes no suco de laranja obtido pelo teor de sólidos totais, mais a maltodextrina adicionada, g;

4.4.13. Sólidos solúveis (°Brix)

O °Brix foi medido em Refratômetro Abbe digital de bancada Nova WYA – 2S. Foi analisado o suco com e sem maltodextrina, do suco *in natura*, do suco de laranja congelado e do suco da fruta congelada. Bem como dos sucos em pó diluídos na intenção de se obter o teor de sólidos totais inicial.

4.4.14. Solubilidade

A solubilidade seguiu a metodologia descrita por Fernandes et al. (2013). Pesou-se 2g do suco em pó obtido e dilui com 200mL de água destilada em agitador (marca) com rotação de 1000rpm por 5min. Então leva a solução para a centrífuga de marca SC-070 durante 5min, com rotação de 2600rpm. Por fim, tomou-se uma alíquota de 50mL e transfere para Becker, deixando na estufa por 24h á 105°C. A solubilidade foi determinada através da (Equação 11):

$$S(\%) = \frac{M_s}{M_p} \times 100\% \quad (11)$$

Em que:

S = solubilidade

M_s = massa seca após 24h

M_p = massa inicial pesada do pó (2g)

A análise da solubilidade foi determinada para o pó do suco *in natura*, do suco congelado e suco da fruta congelada.

4.4.15. Teor de sólidos totais

Para determinação do teor de sólidos totais, tomou-se aproximadamente 10mL de amostra do suco líquido e deixou em estufa por 24h á 105°C. O cálculo do mesmo, faz-se pela seguinte Equação (12):

$$ST(\%) = \frac{M_s}{M_i} \times 100\% \quad (12)$$

Em que:

ST = sólidos totais

M_s = massa seca após 24h

M_i = massa inicial do suco *in natura* referente aos 10ml

O valor encontrado para o teor de sólidos totais do suco da laranja *in natura* sem adição de maltodextrina foi de 8,33 ±0,02. Já que segundo a Norma Técnica NTS 013 (1999), os sólidos totais representam as substancias que permanecem após a secagem, no suco de laranja *in natura* obteve-se 8,3g de sólidos em 100g de suco.

A partir deste resultado, fixou-se uma concentração de maltodextrina de 15% em massa. Visto que para a secagem em *spray dryer* deve-se ter um teor de sólidos totais de 25%, segundo Santos (2014).

4.4.16. Umidade

Para analisar a umidade, foi pesado aproximadamente 1g do pó do suco *in natura*, suco de laranja congelado e suco da fruta congelada. De acordo com a metodologia do IAL (2008), deixa as amostras líquidas em estufa á 105°C por 24h. O cálculo da umidade é feito através da Equação (13):

$$U(\%) = \frac{M_i - M_s}{M_i} \times 100\% \quad (13)$$

Em que:

U = umidade

M_i = massa inicial

M_g = massa seca após 24h

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico do trabalho são apresentados todos os resultados obtidos durante a realização do trabalho.

5.1. Ácido ascórbico (Vitamina C)

Os resultados obtidos do teor de ácido ascórbico são apresentados nas Tabela 8 e 9, todos em mg de ácido ascórbico/100 ml de suco de laranja.

Tabela 8 – Teor de ácido ascórbico para o suco *in natura*, suco congelado e suco da fruta congelada com e sem maltodextrina

	Suco <i>in natura</i>	Suco congelado	Suco da fruta congelada
Sem maltodextrina	25,46±1,340	21,66±0,386	12,28±1,686
Com maltodextrina	26,13±1,161	20,55±0,774	11,84±3,166

Para a amostra de suco *in natura* obtido na forma líquida, o valor de ácido ascórbico aumentou em apenas 2,6%, quando se adicionou a maltodextrina antes da secagem, já para as amostras do suco congelado e suco da fruta congelada não se pode dizer o mesmo, pois houve redução de 5,2%, e de 3,6%, respectivamente. Comparando os valores entre o suco *in natura* e o suco congelado, ocorre uma variação para menos de 14,9% e 21,4%, em relação ao suco sem maltodextrina e com maltodextrina, respectivamente. Já ao fazer a comparação com o suco da fruta congelada, nota-se uma redução de 51,8% e 54,7%, em relação ao suco sem maltodextrina e com maltodextrina, respectivamente. Pode-se dizer que há uma variação considerável para ambos os casos, isto é, que o efeito do congelamento tanto para o suco quanto para a fruta não é o esperado, já que se busca a conservação das propriedades após o congelamento. Ou seja, o congelamento diminui a vitamina C (teor de ácido ascórbico). Fato que deve ter ocorrido devido à exposição do produto de forma rápida a temperatura ambiente no momento do descongelamento, pois o mesmo deteriora as propriedades físico-químicas rapidamente.

O valor do suco *in natura* sem maltodextrina, do suco congelado sem maltodextrina e do suco da fruta congelada sem maltodextrina encontrados foram menores do que o obtido por Moreira et al. (2013) para o suco de tangerina *in natura*, que foi de 32,40mg/100ml, do suco congelado por 30 dias, que foi de 32,16mg/100ml e do que o suco de tangerina obtido da fruta congelada por 28 dias, que foi de 29,8mg/100ml. Nota-se que as reduções para o suco de

laranja foram bem maiores em relação as reduções para o suco de tangerina, que foi de 0,7% e de 8% para suco congelado e fruta congelada, respectivamente.

Tabela 9 – Teor de ácido ascórbico para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó com o teor de sólidos totais restituído

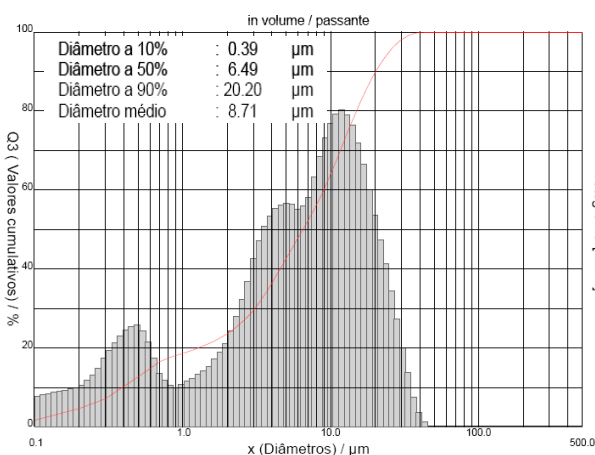
Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
24,57±2,047	24,00±0,000	12,24±1,340

Os valores de teor de ácido ascórbico obtidos para os sucos em pó apresentou uma redução de 2,3% e de 50,2% em relação ao suco *in natura* em pó, para o suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó, respectivamente. Entre o suco congelado e a fruta congelada há uma redução de 49%. Nota-se pelos valores obtidos que a diferença é muito grande, ou seja, pode se considerar que ocorreu alteração nos teores de ácido ascórbico para as amostras após a secagem.

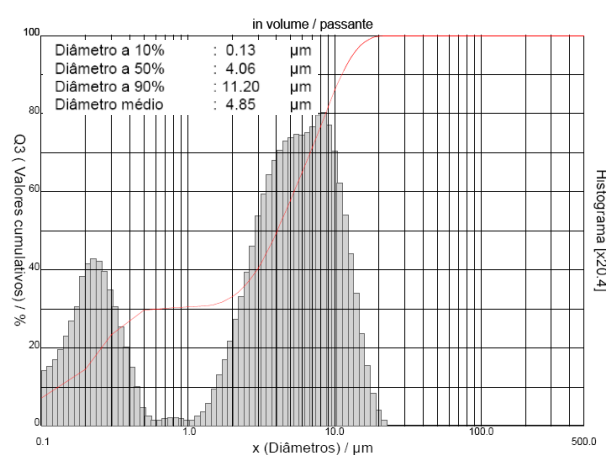
As três amostras de suco em pó apresentaram valores menores ao obtido por Roncada et al. (1977), que encontrou para o suco de laranja, de tangerina e de limão, todos desidratados, um teor de ácido ascórbico de 158,1mg/100ml, 56,2mg/100ml e 31mg/100ml, respectivamente.

5.2 Análise granulométrica

As Figuras 10 (a), (b) e (c) mostram as análises granulométricas do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó, suco da fruta congelada em pó.



(a)



(b)

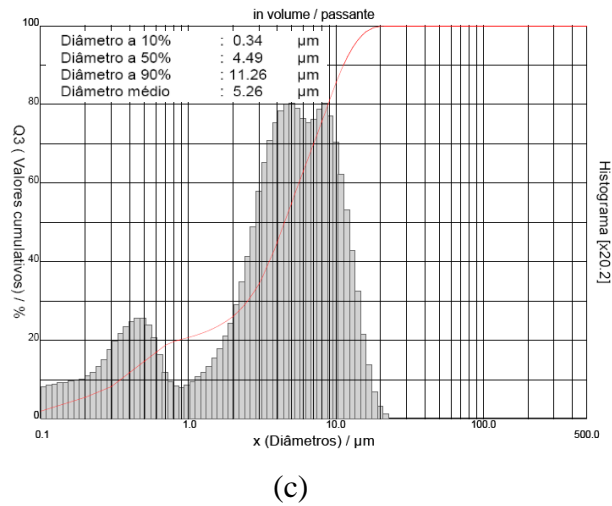


Figura 10 – Gráficos da análise granulométrica: (a) suco *in natura* em pó, (b) suco congelado em pó, (c) suco da fruta congelada em pó

Observando os diâmetros médios das partículas na Figura 10 do suco congelado (b) e fruta congelada (c), percebe-se uma distribuição bem similar. Porém valores diferentes em relação ao diâmetro médio obtido para o suco *in natura* (a), apresentando uma variação para menos de 44,3% quando se congela o suco da laranja e uma redução de 39,6% para o caso do congelamento da própria fruta. Comparando os resultados para as três amostras de suco em pó com a classificação da Tabela 3, pode-se dizer que eles são classificados em pó superfino.

O gráfico na Figura 10 (a) apresenta uma distribuição polimodal, onde se observa três picos distintos. O primeiro pico possui um diâmetro de aproximadamente $0,5\mu\text{m}$. O segundo pico ocorre em torno de $5\mu\text{m}$. Já o terceiro pico apresenta diâmetro próximo a $25\mu\text{m}$. Os gráficos na Figura 10 (b) e (c) apresentam comportamento bimodal com dois picos distintos. O primeiro pico fica em torno de $0,25\mu\text{m}$ e $0,5\mu\text{m}$ no gráfico da Figura 10 (b) e (c), respectivamente. Já o segundo pico apresenta valor em torno de $10\mu\text{m}$ para ambos os gráficos (b) e (c) da Figura 10.

O diâmetro do suco *in natura* em pó apresentou valor menor ao obtido por Tonon (2009), que encontrou um diâmetro médio de $13,27\mu\text{m}$, de $16,12\mu\text{m}$, e de $21,35\mu\text{m}$, para o suco em pó de açaí seco em *spray dryer*, nas concentrações de maltodextrina de 10%, 20%, e de 30%, respectivamente.

5.3 Ângulo de repouso ($^{\circ}$)

A Tabela 10 apresenta os resultados para o tamanho do ângulo de repouso obtidos para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.

Tabela 10 - Tamanho dos ângulos para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
46°	52°	54°

Observa-se que houve um aumento de 11,6% e de 14,8%, em relação ao suco congelado em pó e ao suco da fruta congelada em pó, respectivamente quando comparados com o suco *in natura* em pó. Mas, comparando os dados obtidos com a classificação da Tabela 4, nota-se que todos os ângulos apresentam o mesmo tipo de escoamento, o coesivo.

O suco *in natura* em pó apresentou um valor de ângulo maior ao obtido por Astolfi-filho et al. (2005), que foi de 31,60° para o suco de maracujá seco em estufa a 105°C por 24h com 15% em massa de xarope de sacarose. Já em relação ao ângulo encontrado por Campos (2012), que foi de 36,3° ± 2,2 e de 46,4° ± 2,0, para o leite em pó desnatado e integral, respectivamente, o suco *in natura* apresentou ângulo maior e aproximadamente igual, respectivamente.

5.4 Atividade de água (Aw)

A Tabela 11 mostra os valores obtidos para a medida de atividade de água do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.

Tabela 11 – Valores da atividade de água para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
0,187±0,004	0,212±0,0006	0,261±0,007

Os valores de atividade de água obtidos para os sucos em pó apresentou um aumento em relação ao suco *in natura* em pó de 11,8% e 28,3% para o suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó, respectivamente. Entre o suco congelado e a fruta congelada há um aumento de 18,8%. A variação obtida para o suco congelado em pó em relação ao suco *in natura* em pó não é significativa, já a variação encontrada para o suco da fruta congelada em pó altera significativamente o resultado da atividade de água. Observando os dados acima, se conclui que ao congelar o suco e também a fruta, a água torna-se mais fracamente ligada ao

substrato, sendo facilmente eliminada e funcionando como solvente, permitindo participar de transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas.

O suco *in natura* em pó encontrado apresentou valor de atividade água menor do que o obtido por Ferrari et al. (2012), que obtiveram uma atividade de 0,283 para o suco de amora-preta em pó seco em *spray dryer* com uma temperatura de entrada de 160°C e com 15% em massa de maltodextrina. E apresentou valor muito próximo ao obtido por Tonon (2009), que encontrou uma atividade de $0,189 \pm 0,002$, para o suco de açaí em pó seco em *spray dryer*, usando como agente carreador fécula de mandioca. De acordo com Barbosa (2012) essa faixa de atividade encontrada para as três amostras de suco em pó é ideal para que não ocorra proliferação de microrganismos. Pois, alimentos com a_w menores que 0,6 são considerados microbiologicamente estáveis e a ocorrência de deteriorações é induzida por reações químicas ao invés de microrganismos.

5.5 Densidade aerada (g/ml)

Os valores encontrados de densidade aerada para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó são mostrados na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores da densidade aerada para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
0,4596±0,010	0,3752±0,003	0,3578±0,030

A densidade aerada do suco congelado em pó e do suco da fruta congelada em pó, apresentam valores estatisticamente diferentes, com uma variação entre eles de 4,6%. Mas ao compará-los com o suco *in natura* em pó, observa-se uma redução de 18,4% e 22,2%, respectivamente. Pela formulação da densidade, pode-se afirmar que a mesma é inversamente proporcional ao volume ocupado pelo pó, ou seja, a medida que o espaço ocupado pelo pó aumenta, a densidade aerada diminui.

A densidade do suco *in natura* em pó apresentou um valor próximo ao obtido por Oliveira et al. (2013), que encontraram para pó da polpa de morango atomizada com Maltodextrina 5DE, 10DE, goma arábica e consul, uma densidade de $0,41\text{g/cm}^3$, $0,40\text{g/cm}^3$, $0,47\text{g/cm}^3$ e de $0,52\text{g/cm}^3$, respectivamente. Já em relação a densidade obtida por Oliveira et

al. (2006), que encontraram uma densidade de $1,38\text{g/cm}^3$ para o pó da pitanga formulada com 15% de maltodextrina seca por aspersão, a mesma teve valor baixo.

5.6 Densidade compactada (g/ml)

A Tabela 13 mostra os valores obtidos da densidade compactada para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.

Tabela 13 – Dados obtidos da densidade compactada para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
0,7459	0,6325	0,6763

A densidade compacta do suco congelado em pó e do suco da fruta congelada em pó, apresentam valores próximos, com uma variação entre eles de 6,5%. Mas ao compará-los com o suco *in natura* em pó, observa-se uma redução de 15,2% e 9,3%, respectivamente. A explicação para este acontecimento, segue na mesma linha de raciocínio da análise da densidade aerada, até porque o cálculo da densidade compactada é o mesmo do que da densidade aerada. O que muda, é apenas o fato de que agora o pó é compactado, afim de que se elimine o ar, através de batidas sucessivas, o que não vai mudar o tamanho dos diâmetros, e consequentemente ainda ocupará volume menor.

As densidade compactas obtidas para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó foram maiores em relação ao encontrado por Campos (2012), que obteve uma densidade compactada de $0,465\text{ g/cm}^3$, e de $0,595\text{ g/cm}^3$, para o leite em pó desnatado e integral, respectivamente. Maiores também quando comparado ao obtido por Urbano et al. (2009), que obteve para o leite de cabra em pó seco em leite de jorro, um densidade compactada de $0,421 \pm 0,016\text{ g/cm}^3$, de $0,379 \pm 0,004\text{ g/cm}^3$, de $0,132 \pm 0,016\text{ g/cm}^3$, de $0,113 \pm 0,044\text{ g/cm}^3$, nas temperatura de 80°C , 90°C e 100°C , respectivamente. E maiores em relação ao encontrado por Lima (1987), que obteve uma densidade compactada de $0,46\text{ g/ml}$ para o suco de banana em pó probiótico.

5.7 Densidade de partícula (g/ml)

Os valores encontrados para a densidade de partícula para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Dados obtidos da densidade de partícula para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
0,9056±0,1879	0,3282±0,3389	0,3432±0,3359

A densidade de partícula do suco congelado em pó e do suco da fruta congelada em pó, apresentam valores próximos, com uma variação entre eles de 4,4%. Mas ao compará-los com o suco *in natura* em pó, observa-se uma redução de 63,8% e 62,1%, respectivamente. Ou seja, quanto mais pesado o material, mais facilmente, este se acomoda nos espaços entre as partículas, ocupando menor volume e resultando, assim, em maior densidade. Pode-se dizer que há uma variação considerável para ambos os casos, isto é, que o efeito do congelamento tanto para o suco quanto para a fruta não é o esperado, já que se busca a conservação das propriedades após o congelamento.

Os valores obtidos para a densidade de partícula para as amostras de suco congelado em pó e fruta congelada em pó do presente trabalho foram menores ao obtido por Tonon (2009), que obteve uma densidade de partícula para o suco de açaí em pó seco em *spray dryer* de $1,531 \pm 0,004 \text{ g/cm}^3$, de $1,511 \pm 0,004 \text{ g/cm}^3$, de $1,491 \pm 0,008 \text{ g/cm}^3$, e de $1,514 \pm 0,001 \text{ g/cm}^3$, usando como agente carreador maltodextrina 10DE, 20DE, goma arábica e fécula de mandioca, respectivamente. E por Fernandes et al. (2013), que observaram uma variação de 0,93 – 1,19 g/ml na densidade de partícula para o óleo de alecrim microencapsulado por secagem por atomização. Já em relação ao suco *in natura* em pó, observar-se o valor foi próximos aos dos autores acima.

5.8 Fluxabilidade e Coesão

As Tabelas 15 e 16 apresentam os valores da fluxabilidade em termos do Índice de Carr (IC), e da coesão em termos do Razão de Hausner (HR), do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.

Tabela 15 – Valores da fluxabilidade em termos do IC do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
38,39%±0,013	40,67%±0,005	47,10%±0,044

A fluxabilidade obtida para as três amostras de suco em pó apresentam valores próximos. Tendo um aumento de apenas 5,6% quando se congela o suco de laranja e de 18,5% ao congelar a fruta. Mas comparando os dados obtidos com a classificação da Tabela 6, as três amostras de suco apresentam um fluxo muito pobre, em relação à compactação dos pós, ou seja, não possuem um fluxo bom para que ocorra uma mistura eficiente da amostra, no momento da compactação.

O suco *in natura* em pó e o suco congelado em pó apresentaram uma fluxabilidade próxima a obtida por Fernandes et al. (2013), que observaram uma variação de 23,09 – 40,22% no Índice de Carr, para o óleo de alecrim microencapsulado por secagem por atomização. Já em relação ao suco da fruta congelada, pode-se dizer que apresentou valor maior. E comparando as amostras com o dados obtido por Lima (1987), que obteve um IC de 0,33 para o suco de banana em pó probiótico, conclui-se que as três amostras de suco apresentaram valores maiores.

Tabela 16 – Valores da coesão em termos do HR do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
1,6237±0,037	1,6857±0,015	1,8988±0,1591

A coesão obtida para as amostras de suco *in natura* em pó, e suco congelado em pó apresentam valores próximos, que são um pouco diferentes do valor encontrado para o suco da fruta congelada em pó. Tendo um aumento de apenas 3,7% quando se congela o suco de laranja e de 14,5% ao congelar a fruta. Mas ao comparar os dados obtidos com a classificação da Tabela 5, pode-se perceber que as três amostras de suco apresentam escoamento coesivo, difícil. Ou seja, em relação a compactação do pó, não possuem boas características de compressibilidade.

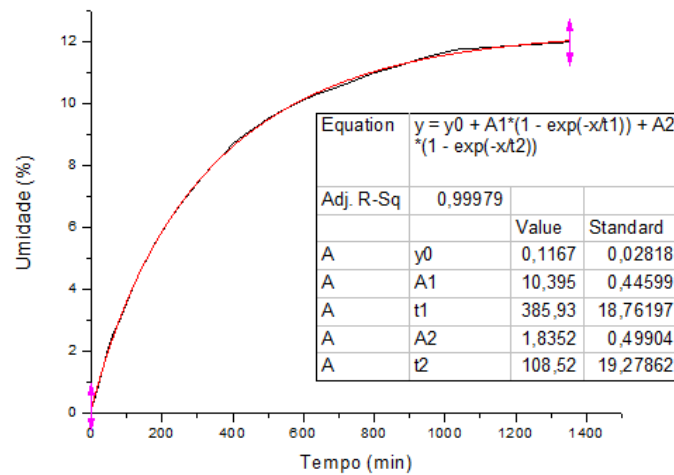
Comparando as três amostras de suco com os dados obtidos por Campos (2012), que obteve um Índice de Hausner (HR) de 1,24, e de 1,32 para o leite em pó desnatado e integral, respectivamente, e por Urbano et al. (2009), que obtiveram para o leite de cabra em pó seco em leite de jorro, um HR de $1,187 \pm 0,033$, de $1,240 \pm 0,021$, de $1,323 \pm 0,016$, de $1,135 \pm 0,044$, nas temperatura de 80°C, 90°C e 100°C, respectivamente, pode-se observar que apresentaram valores maiores. Já comparando com os valores encontrados por Fernandes et

al. (2013), que observou uma variação de 1,30 – 1,67 no Índice de Hausner para o óleo de alecrim microencapsulado por secagem por atomização, o suco *in natura* em pó e o suco congelado em pó apresentaram valores bem próximos. E o suco da fruta congelada apresentou valor maior.

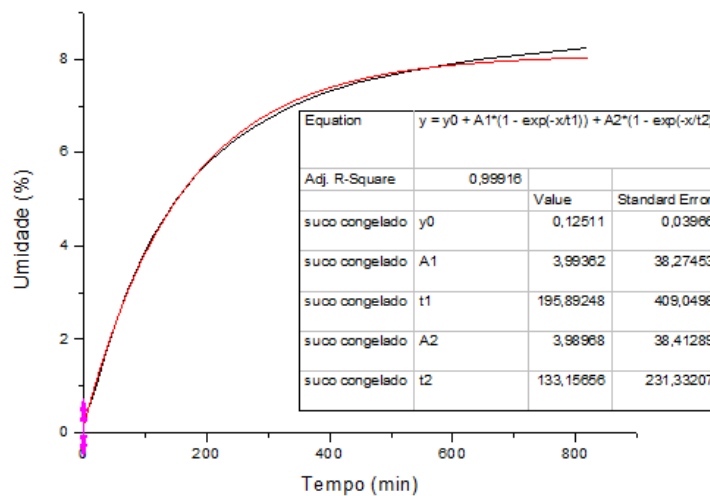
5.9 Isoterma

As Figuras 11 (a), (b) e (c) mostram as isotermas do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó, suco da fruta congelada em pó.

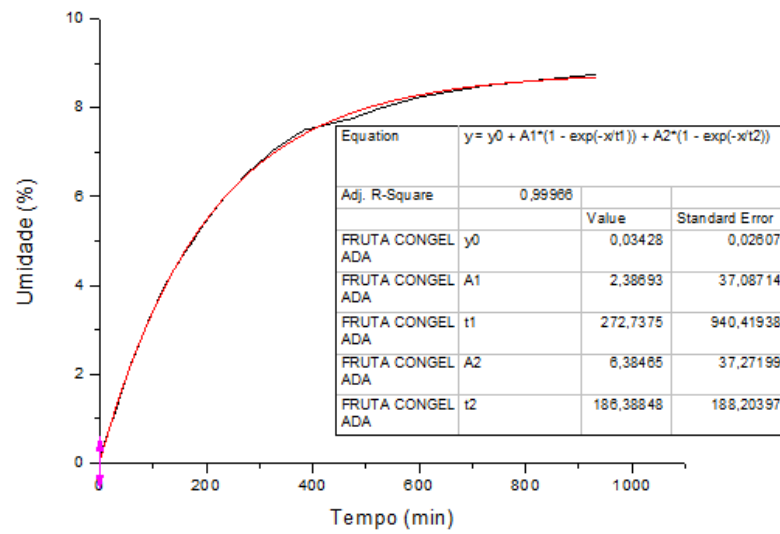
Figura 11 – Gráficos da isoterma: (a) suco *in natura* em pó, (b) suco congelado em pó, (c) suco da fruta congelada em pó



(a)



(b)



(c)

Os dados experimentais obtidos para as três amostras, apresentaram R^2 próximo a 1. Ou seja, o modelo PEK utilizado mostrou bom ajuste gráfico entre os dados experimentais e calculados. Observa-se que inicialmente os pós expostos a umidade relativa ambiente (cerca de 80%) ganham massa rapidamente, e após cerca de 250 minutos passam a aumentar de peso mais lentamente. E isto ocorre, devido ao fato de que nos primeiros minutos há maior concentração de água entre o produto e o ambiente.

Analisando os resultados, percebe-se que o tempo de equilíbrio foi sempre mais longo para o processo de adsorção rápida (t_1), o qual a amostra de suco *in natura* em pó apresentou o maior tempo de equilíbrio em comparação com as outras amostras. Foi possível verificar a umidade de equilíbrio através do modelo PEK. Zaihan et al. (2009) aplicaram o modelo PEK em seis tipos de madeiras diferentes, obtendo ótimos ajustes aos dados experimentais obtidos. E Kohler et al. (2006) também obtiveram excelentes ajustes utilizando o modelo PEK em materiais celulósicos.

Os valores das massas obtidas no modelo e experimentalmente no tempo final estudado, além do erro percentual relacionado a esses resultados são mostrados na Tabela 17 para critério de comparação entre os dados experimentais e o modelo aplicado.

Tabela 17- Valores do ganho de massa obtido experimentalmente e estimado pelo modelo para as amostras de suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó

Amostras	Ganho de massa experimental (%)	Ganho de massa do modelo (%)	Erro (%)
Suco <i>in natura</i> em pó	12	12,35	2,83
Suco congelado em pó	8,25	8,11	1,70
Suco da fruta congelada em pó	8,75	8,81	0,68

Observa-se que os valores de ganho de massa obtidos experimentalmente e pelo modelo são próximos, apresentando erros inferiores a 3%, provando a competência do modelo. A massa obtida pelo modelo corresponde ao somatório ($y_0+A_1+A_2$), e percebe-se que a soma diminui quando se faz o congelamento tanto do suco quanto da fruta, sendo esse valor menor para o congelamento do suco.

Através dos resultados, pode-se concluir que os produtos com embalagem aberta devem ser consumidos em 1 hora e 40 minutos aproximadamente, de acordo com os valores obtidos de t_1 .

5.10 Molhabilidade (s)

Os valores encontrados para a molhabilidade para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó são apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores da molhabilidade para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
312 s	136 s	187 s

O tempo que as partículas do suco congelado em pó e o suco da fruta congelada em pó levaram para submergir completamente na água foi menor em comparação com o suco *in natura* em pó. Observa-se uma diminuição de 56,4% e de 40,1%, quando comparando o tempo do suco *in natura* em pó, com o suco congelado em pó e suco da fruta congelada em

pó, respectivamente. E um aumento de 27,5% quando se compara o suco congelado em pó com o suco da fruta congelada em pó.

Pode-se dizer então que o suco *in natura* em pó apresenta diâmetro maior do que o suco congelado em pó e do que o suco da fruta congelada em pó, que pode ser verificado pelos dados contidos nos gráficos das Figuras 10 (a), (b), e (c). Pois, o tempo de dispersão que está diretamente relacionado a molhabilidade do pó, é acelerado quanto maior o diâmetro e a porosidade das partículas, devido a maior facilidade de penetração da água em função da maior quantidade de espaços vazios.

O tempo de molhabilidade do suco *in natura* em pó apresentou valor muito maior em relação ao obtido por Oliveira et al. (2006), que encontraram um tempo de molhamento de 239,82s para o pó da pitanga formulada com 15% de maltodextrina seca por aspersão, e em relação a Tonon (2009), que obteve um tempo de molhamento para o suco de açaí seco em *spray dryer* e $8,61 \pm 0,37$ min, de $6,23 \pm 0,45$ min, de $10,77 \pm 0,57$ min, e de $2,67 \pm 0,24$ min, usando como agente carreador maltodextrina 10DE, 20DE, goma arábica, e fécula de mandioca, respectivamente.

5.11 pH

As Tabela 19 e 20 mostram os resultados obtidos para o pH.

Tabela 19 – pH do suco *in natura*, suco congelado e suco da fruta congelada com e sem maltodextrina

	Suco <i>in natura</i>	Suco congelado	Suco da fruta congelada
Sem maltodextrina	3,59±0,017	4,44±0,297	3,36±0,087
Com maltodextrina	3,50±0,006	3,66±0,020	3,39±0,098

Nota-se que ocorreu uma redução no pH ao adicionar maltodextrina para as amostras de suco *in natura* e suco congelado, sendo essa redução de 2,5% e de 17,6%, respectivamente. Já para o suco da fruta congelada, houve um aumento no valor do pH de apenas 0,9%.

Ao comparar o suco *in natura* com o suco congelado observa-se que há um aumento de 19,1% e de 4,4% em relação ao pH puro e ao adicionado de maltodextrina, respectivamente. Porém há uma diminuição no valor do pH ao comparar o suco *in natura* com o suco da fruta congelada de 6,4% para o suco sem maltodextrina e de 3,1% para o suco

acrescido de maltodextrina. Mostrando, assim que os ácidos presentes no suco antes do congelamento foram conservados, o que representa certa vantagem visto que buscamos a viabilidade da conservação do produto sob congelamento sem a perda de suas propriedades.

O pH do suco *in natura* congelado puro apresentou valor maior ao encontrado por Santos et al. (2014), que foi de 3,76 para a polpa integral de goiaba congelada por 18h. O suco *in natura* com maltodextrina obteve valor de pH maior do que o encontrado por Oliveira et al. (2006), que foi de 3,042 para a polpa de pitanga formulada com 15% de maltodextrina. Já o suco *in natura* sem maltodextrina apresentou valor de pH inferior ao encontrado por Almeida (2017), que foi de 3,73 para o suco de laranja *in natura*.

Tabela 20 – pH do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó, com o teor de sólidos totais restituídos

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
3,59±0,044	3,56±0,006	3,60±0,006

Os valores do pH do suco congelado em pó e do suco da fruta congelada em pó apresentam valores próximos estatisticamente. Já em comparação com o suco *in natura* em pó, o suco congelado em pó apresenta redução de 0,9%, e o suco da fruta congelada em pó apresenta aumento de 0,3%. Nota-se que a diferença é muito pequena após a secagem do produto, ou seja, não pode se considerar que a conservação sob congelamento do suco, e da fruta exercem influência no produto obtido.

O pH do suco *in natura* em pó apresentou um valor inferior ao determinado por Gomes et al. (2004) que foi de 3,82% para o pó da acerola desidratada em leite de jorro com 10% de maltodextrina e por Soares et al. (2014) que obteve 3,88 para o pó de goiaba atomizada em *spray dryer* com 10% de maltodextrina. Mas obteve um valor maior que o encontrado por Soares et al. (2001) que foi de 3,22% para o pó da acerola desidratada pelo processo de “Foam-mat”.

5.12 Rendimento (%)

A Tabela 21 apresenta os resultados obtidos para o rendimento do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.

Tabela 21 – Rendimento obtido para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
70,72	79,59	69,40

O maior rendimento obtido no processo de secagem foi na condição em que o suco de laranja foi congelado. O suco *in natura* em pó e o suco da fruta congelada em pó apresentaram valores próximos de rendimento, tendo uma diferença de apenas 1,9%. Já em relação ao suco congelado em pó, o mesmo apresentou aumento de 11,1% em comparação com o suco *in natura* em pó. Ou seja, o suco ao ter sido congelado pode ter modificado diferentemente a estrutura do mesmo em comparação a estrutura da fruta congelada, fato que acarretou num maior rendimento.

O rendimento das três amostras do suco em pó apresentaram valores maiores ao obtido por Zotarelli (2014), que foi de 20,4% para a secagem da manga em *spray dryer* com adição de 5% de maltodextrina 10DE. E maiores ao encontrado por Almeida (2017), que variou de 61,80% a 64,15% para a secagem do suco de laranja em *spray dryer* com adição de 15% de maltodextrina. Já em relação ao rendimento encontrado por Santos et al. (2014), que variou de 54,4% a 71,2% para a secagem do suco de acerola verde em *spray dryer* com adição de 20% de maltodextrina, as amostras de suco *in natura* em pó e suco da fruta congelada em pó apresentaram valores dentro da faixa, e o suco congelado em pó apresentou valor maior.

5.13 Sólidos solúveis (°Brix)

As Tabela 22 e 23 mostram os resultados obtidos para os sólidos solúveis (°Brix).

Tabela 22 – °Brix do suco *in natura*, suco congelado e suco da fruta congelada com e sem maltodextrina.

	Suco <i>in natura</i>	Suco congelado	Suco da fruta congelada
Sem maltodextrina	9,47±0,416	8,10±0,557	10,63±0,306
Com maltodextrina	20,7±0,173	18,67±0,586	18,03±0,208

Como o °Brix mede a quantidade de gramas de açúcar em 100g de solução, e sendo o teor de sólidos totais 8,3%, pode-se dizer que o suco de laranja congelado em sua grande maioria é composto de açúcar, representando 97,6%. A uma redução no valor do °Brix em relação ao suco acrescido de maltodextrina, quando se compara o suco *in natura* com o suco

congelado e o suco da fruta congelada, sendo essa redução de 9,8% e de 12,9%, respectivamente. Observando os dados acima, pode-se dizer que o congelamento tem um efeito, que não é o mais esperado, já que se busca a conservação das propriedades após o congelamento, o que nesse caso na verdade diminui o teor de sólidos totais.

O suco *in natura* sem maltodextrina e com maltodextrina apresentaram valores de °Brix maior do que o obtido por Oliveira et al. (2006) que encontraram 7° para a polpa integral de pitanga e 15,33° para a polpa de pitanga com 15% de maltodextrina. Sendo maior também aos valores de °Brix encontrado por Almeida (2017), que foi de 6,8° para o suco de laranja *in natura* e de 19,97° para o suco de laranja acrescido de 15% de maltodextrina.

Tabela 23 - °Brix do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó, com o teor de sólidos totais restituídos

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
18,9±0,557	19,57±0,058	18,89±0,034

Os valores do °Brix do suco congelado em pó e do suco da fruta congelada em pó variam em apenas 3,5%. Já em comparação com o suco *in natura* em pó, o suco congelado em pó apresenta aumento de 3,4%, e o suco da fruta congelada em pó apresenta aumento de 0,05%. Nota-se que a diferença é muito pequena após a secagem do produto, ou seja, não pode se considerar que a conservação sob congelamento do suco, e da fruta exercem influência no produto obtido.

O °Brix do suco *in natura* em pó apresentou um valor alto em relação ao encontrado por Moreira et al. (2013), que obtiveram um °Brix de 9,5 para o suco de tangerina *in natura*. Por Cunha et al. (2014), que obtiveram um °Brix de 8,5 , 8,3 e 8,3 para o suco de laranja *in natura*, suco de melancia *in natura*, e suco de abacaxi com hortelã *in natura*, respectivamente. E por Santos et al. (2014) que obtiveram 8,43° para o pó da goiaba seco em *spray dryer* com 10% de maltodextrina.

5.14 Solubilidade (%)

A Tabela 24 apresenta os resultados obtidos para a solubilidade do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.

Tabela 24 – Solubilidade obtida para do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
24,6±0,506	25,93±1,464	23,19±0,975

A solubilidade para as três amostras de suco em pó possuem valores aproximados, apresentando um aumento de 5,1% quando o suco de laranja é congelado e redução de 5,7% ao congelar-se a própria laranja. Pode-se dizer que o suco congelado em pó, por apresentar maior solubilidade, possui maior capacidade em se manter como uma mistura homogênea com a água, apresentando menos quantidade de material insolúvel.

As três amostras de suco apresentaram valores menores ao obtido por Cavalcante et al. (2017) em seu trabalho para estabelecer a melhor condição de secagem em *spray dryer*, visando a obtenção de polpa de graviola em pó, que obteve na temperatura de entrada de 169°C com 17% de maltodextrina 20DE uma solubilidade de 55,74% ± 3,24. Por Felix (2014), que obteve uma solubilidade de 37,38%±0,25, usando 15% de goma arábica e 15% de maltodextrina na secagem por atomização do óleo essencial de canela. E por Souza (2009), que encontrou uma solubilidade de 60,15% ±0,001, para a secagem em leite de jorro de uma mistura de frutas tropicais (manga, umbu, seriguela).

5.15 Umidade (%)

A Tabela 25 apresenta os resultados obtidos para a umidade do suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó.

Tabela 25 – Umidade para o suco *in natura* em pó, suco congelado em pó e suco da fruta congelada em pó

Suco <i>in natura</i> em pó	Suco congelado em pó	Suco da fruta congelada em pó
4,46±0,375	5,68±0,150	3,37±0,504

Comparando-se a umidade obtida do suco *in natura* em pó com o suco congelado em pó nota-se um aumento de 21,5% e comparando com o suco da fruta congelada em pó, nota-se uma redução de 24,4%. Já relacionando o suco congelado em pó e o suco da fruta congelada, a uma redução de 40,7%. Nota-se que há uma variação significativa na umidade

quando se congela tanto o suco como a fruta, ou seja, o congelamento altera a quantidade de moléculas de água presente no produto em pó.

A umidade do suco *in natura* em pó apresentou um valor próximo ao determinado por Gomes et al. (2004) que foi de 4,07% para o pó da acerola desidratado em leite de jorro com 10% de maltodextrina. Porém um pouco menor do que a encontrada por Soares et al. (2001) que obteve 7,24% para o pó da acerola desidratada pelo processo de “Foam-mat” e do que a obtida por Santos et al. (2014) que obteve 5,69% para o pó da goiaba atomizada com 10% de maltodextrina.

6. CONCLUSÃO

- Foi possível a obtenção do suco em pó pela secagem em *spray dryer* do suco *in natura*, suco congelado e fruta congelada utilizando como agente carreador a maltodextrina 20DE na temperatura de entrada do secador de 150°C. O processo de obtenção de sucos de frutas em forma de pó é uma alternativa de conservação do produto final, apresentando facilidade no transporte e armazenamento, devido a redução do volume apresentado por esse produto.
- Foi possível realizar as características físico- químicas (ácido ascórbico, análise granulométrica, ângulo de repouso, atividade de água, densidade aerada, densidade compactada, densidade de partícula, fluxabilidade e coesão, isoterma, molhabilidade, pH, sólidos solúveis, solubilidade e umidade) dos produtos em pó obtidos.
- Foi possível observar que no geral as características físico-químicas : ácido ascórbico, análise granulométrica, ângulo de repouso, fluxabilidade e coesão, pH, sólidos solúveis e solubilidade não se alteram para os produtos em pó obtidos do suco congelado e da fruta congelada quando comparados ao produto em pó obtido do suco *in natura*. Com exceção da densidade aerada, densidade compacta, densidade de partícula e molhabilidade, que diminuem, sendo as reduções menos significativas para a condição de fruta congelada, da atividade de água, que aumenta, sendo esse aumento menor para a condição de suco congelado, e para a umidade, ocorrendo aumento para o suco congelado em pó e redução para o suco da fruta congelada em pó.

E após a realização do presente estudo, conclui-se que o processo de congelamento do suco de laranja e da própria fruta, ambos por 30 dias a uma temperatura de -18°C mostrou-se viável, pois apresentaram rendimentos em torno de 74%. E as características físico-químicas foram conservadas em sua grande maioria, quando comparadas com as características do suco *in natura*.

Pode-se dizer que o congelamento não exerce influencia significativa, o que é bom para o produto final, já que se busca a conservação das características físico-químicas após o congelamento.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINI-COSTA T. S., ABREU L. N., ROSSETTI A. G. Efeito do congelamento e do tempo de estocagem da polpa de acerola sobre o teor de carotenoides. **Rev. Bras. Frutic.**, v.25, n.1, p. 56-58, Jaboticabal-SP, 2003.
- ALMEIDA, T. C. **Obtenção e caracterização do suco em pó da laranja (*Citrus sinensis*) obtido por *spray dryer***. Trabalho final de curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, 2017.
- AMBROS L. **Isotermas de sorção de farinha de jaboticaba: determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos**. Trabalho (Diplomacia em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- ARAÚJO P. F., RODRIGUES R. S., MACHADO A. R., SANTOS V. S., SILVA J. A. Influência do congelamento sobre as características físico-químicas e o potencial antioxidante de néctar de amora-preta. **B.CEPPA**, v.27, n.2, p.199-206, Curitiba, 2009.
- ARAÚJO P. G. L., FIGUEIREDO R. W., ALVES R. E., MAIA G. A., PAIVA J. R. β -caroteno, ácido ascórbico e antocianinas totais em polpa de frutos de acerola conservada por congelamento durante 12 meses. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 27(1): 104-107, jan-mar., 2007.
- ASTOLFI-FILHO Z., SOUZA A. C., REIPERT E. C. D., TELIS V. R. N. Encapsulação de suco de maracujá por co-cristalização com sacarose: cinética de cristalização e propriedades físicas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** Campinas, 25(4): 795-801, out-dez., 2005.
- BARBOSA , S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por *spray drying***. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG, 2010.
- BARRETO, C. R. S. **Processamento de suco concentrado de laranja**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.
- BRITO K. D., OLIVEIRA L. S. C., LIMA A. G. B., SANTIAGO A. M., ALVES D. E. G. **Avaliação do processo físico de congelamento da polpa de limão tahiti (*Citrus latifolia tanaka*)**. Cobeq – XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis, 2014.

CAMPOS, M. M. **Análise da escoabilidade de pós.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2012.

CARDELLO H. M. A. B., MORAES M. A. C., CARDELLO L. Ácido ascórbico e ascorbato oxidase em manga (*Mangifera indica* L.) var. Haden processada e congelada. **Alim.Nutri.**, São Paulo, 5: 65-75, 1993/94.

CARDOSO S., RUBENSAM J. M. **Elaboração e avaliação de projetos para agroindústria.** EAD – Série educação à distância, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

CARVALHO A. N., MATTIETTO R. A., BECKMAN J. C. Estudo da estabilidade de polpas de frutas tropicais mistas congeladas utilizadas na formulação de bebidas. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.20, 2017.

CAVALCANTE C. E. B., RODRIGUES S., AFONSO M. R. A., COSTA J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em *spray dryer*. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 20, 2017.

CAVALCANTI A. L., OLIVEIRA K. F., PAIVA P. S., DIAS M. V. R., COSTA S. K. P., VIEIRA F.F. **Determinação dos sólidos solúveis totais (°Brix) e pH em bebidas lácteas e sucos de frutas industrializados.** Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada, 2006.

CHAVES M. C. V, GOUVEIA J. P. G., ALMEIDA F. A. C., LEITE J. C. A., SILVA F. L. H. Caracterização físico-química do suco de acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, vol.4, n.2, Paraíba, 2004.

COSTA, J. M. G. **Eficiência de diferentes encapsulantes e condições operacionais de secagem por atomização na produção e aplicação de micropartículas de bioaroma de queijo suíço.** Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2013.

CUNHA K. D., SILVA P. R. da., COSTA A. L. F. S. F, TEODORO A. J., Estabilidade de ácido ascórbico em sucos de frutas frescos sob diferentes formas de armazenamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.17, n.2, p.139-145, 2014.

FADINI A. L., SILVA P. M. P., JARDIM D. C. P., VISSOTO F. Z., QUEIROZ M. B., BATISTA G. Isotermas de sorção de umidade e estudo de estabilidade de macadâmias drageadas. **Braz. J. Food. Technol**, v.9, n.2, p. 83-88, abr./jun., 2006.

FARAONI, A. S. **Efeito do tratamento térmico, do congelamento e da embalagem sobre o armazenamento da polpa de manga orgânica (*Mangifera indica L*) CV. 'UBÁ'**. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2006.

FELIX, P. H. C. **Microencapsulação de óleo essencial de canela por atomização com emprego de diferentes materiais de parede**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

FERNANDES R. V. de B., BORGES S. V., BOTREL D. A. Influence of *spray drying* operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 33(Supl.1): 171-178, fev. 2013.

FERRARI C. C, RIBEIRO C. P., AGUIRRE J. M. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.15, n.2, p.157-165, 2012.

FIGUEIRA R., NOGUEIRA A. M. P., VENTURINI FILHO W. G., DUCATTI C., QUEIROZ E. C., PEREIRA A. G. S. Análise físico-química e legalidade em bebidas de laranja. **Alim. Nutr.**,v.21, n.2, p. 267-272, abr./jun., Araraquara, 2010.

FRANCO, A. S. M. **O suco de laranja brasileiro no mercado global**. Análise Conjuntural, v.38, n.11-12, 2016.

GARCIA, D. M. **Análise de atividade de água em alimentos armazenados no interior de granjas na integração avícola**. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GOMES, M. S. **Estudo da pasteurização de suco de laranja utilizando ultrafiltração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GOMES P. M. de A., FIGUEIRÊDO R. M. F.de, QUEIROZ A. J. de M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 24(3): 384-389, jul.-set.,2004.

GOULA A. M., ADAMOPOULOS K. G. Effect of maltodextrina addition during *spray drying* of tomato pulp in dehumidified air: I. Powder properties. **Drying Technology**, v.26, n.6, p. 726-737, 2008.

GUBIANI P. I., REINERT D. J., REICHERT J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partícula do solo – exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.664-668, mar-abril, 2006.

HAMMES, M. V. **Estudo da influencia da adição de lecitina de soja na molhabilidade do leite de búfala em pó obtido por *spray-drying*. 88f. 2013.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

IAL – INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**, 4 ed, São Paulo, 2008.

JINAPONG N., SUPHANTHARIKA M., JAMNONG P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, *spray drying* and fluidized bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v.84, n.2, p. 194-205,2008.

JÚNIOR, R. C. A.. **Determinação da densidade aparente de matérias-primas - fundentes, minério de ferro e resíduos.** Trabalho final de curso (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

KOHLER R., ALEX R., BRIELMANN R., AUSPERGER B. A new kinetic model for water sorption isotherms of cellulosic materials. In: **Macromolecular Symposia**. WILEY-VCH Verlag, p. 89-96, 2006.

KROKIDA M. K.; MAROULIS Z. B. Structural properties of dehydrated products during rehydration. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 36, n. 5, p. 529-538, 2001.

LAMOLHA M. A., SERRA C. H. R. Avaliação das propriedades de fluxo dos granulados e dissolução de comprimidos de hidroclorotiazida 50 mg obtidos por granulação úmida. **Rev. Bras.Cienc. Farm.**, vol. 43, n.3, São Paulo, 2007.

LIMA, D. C. N. **Suco de banana em pó probiótico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – São Paulo, 1987.

LIMA, R. A. B. **Análise da secagem convectiva de folhas de manjeriço**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2013.

LINO G. C. L., LINO T. H. L. **Congelamento e refrigeração**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Londrina, 2014.

LOBATO, J. C. M. **Caracterização das propriedades de fluxo da lama vermelha para fins de dimensionamento de silos – aplicação para tremonhas cônicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

LOPES A. L., SOUSA J., SOUZA L., NETO V. G. M. **Cultivo de laranja e produção de suco**. Instituto Observatório Social – São Paulo, 2013.

LOPES, R. L. T. **Conservação de alimentos**. Dossiê técnico – Fundação Centro Tecnológico – CETEC, Minas Gerais, 2007.

MATA M. E. R. M. C., BRAGA M. E. D., SILVA M. Curvas de congelamento de frutos de cajá (*Spondias lutea* L.) a temperaturas semi-criogênicas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p.55-62, 2003

MATTOS, A. C. H. **Determinação da molhabilidade de materiais particulados na indústria alimentícia**. 40f. 2012. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MORAES, M. L. **Avaliação da vida de prateleira de suco de abacaxi adicionado de polpa de yacon, vitamina c e goma xantana**. Trabalho final de curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

MORAIS, J. **O valor do pH**. Departamento de Química e Instituto de Ciências Agrárias Mediterrânicas – EU, 2008.

MOREIRA C. F. F., LOPES M. L. M., MESQUITA V. L. V. Impacto da estocagem sobre atividade antioxidante e teor de ácido ascórbico em sucos e refrescos de tangerina. **Rev. Nutr., Campinas, 25(6):743-752, nov./dez., 2012**

MOURA, M. B. M. **Influência dos parâmetros de secagem por atomização do caju (*anacardium occidentale* L.) utilizando diferentes concentrações de maltodextrina e goma arábica sobre propriedades físico-químicas.** Trabalho final de curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, 2017.

NASCIMENTO, A. M. R. **Interações sólido-líquido e sua importância no desenvolvimento de formas farmacêuticas sólidas orais de liberação imediata.** Trabalho final de curso (Graduação em Tecnologias Industriais Farmacêuticas) – Fundação Oswaldo Cruz Farmanguinhos, Rio de Janeiro, 2011.

NEVES, M. D. M. **Sinterização de misturas de pós de ligas de ferro para aplicações automotivas.** Tese (Doutorado em Ciências na área de tecnologia nuclear-materias) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

NORMA TECNICA INTERNA SABESP. **Sólidos – Método de ensaio.** Revisão 1, São Paulo, 1999.

OI R. K., TAMBOURGI E. B., MORAES JR D. de. **Estudo de viabilidade da secagem da biomassa da banana verde em *spray dryer* rotativo.** Exacta, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 185-191, 2010.

OLIVA, M. P. **Desenvolvimento de dispositivo auxiliar para a determinação de densidade aparente de pós com garrafa de refrigerante.** 16º Congresso Nacional de Iniciação Científica – CONIC, SEMESP, 2016.

OLIVEIRA F. M. N. de, FIGUEIRÊDO R. M. F.de, QUEIROZ A. J. de M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.1, p.25-33, 2006.

OLIVEIRA M. E. B, NASSU R. T., RODRIGUES L. J., ALMEIDA G. B. **Avaliação da estabilidade da polpa congelada de goiaba**, 2017.

OLIVEIRA M. I. S., TONON R. V., NOGUEIRA R. I., CABRAL L. M. C. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Braz. J. Food Technol**, Campinas, v. 16, n. 4, p. 310-318, out./dez. 2013.

OLSZEWSKI, S. M. **Influência do diâmetro do tubo e da solubilidade dos materiais particulados nas medidas de molhabilidade por ascensão capilar.** Trabalho final de curso

(Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

PAPINI, C. J. **Estudo comparativo de métodos de determinação do tamanho da partícula.** Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2003.

PROVESI J. G., AMANTE E. R. Proteínas anticongelantes – uma tecnologia emergente para o congelamento de alimentos. **Bra Dzilian Journal of Food Technology**, v.18, n.1, p.2-13, 2015.

RESENDE J. V., CAL-VIDAL J. Frutos de melão submetidos a pré-tratamentos hidrocolóides: efeitos do processo de congelamento sobre a microestrutura celular. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 22(3): 295-304, set-dez. 2002.

ROCHA, F. I. G da. **Avaliação da cor e da atividade antioxidante da polpa e extrato de mirtilo (Vaccinium myrtillus) em pó.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2009.

RONCADA M. J., WILSON D., SUGUIMOTO L. Concentração de ácido ascórbico em sucos de diversas frutas brasileiras e sua relação com preço e necessidade diárias recomendadas de vitamina C. **Revista Saúde Publica**, São Paulo, 11: 39-47, 1977.

SANTOS A. A. C. de, FLORÊNCIO A. K. G. D., ROCHA E. M. de F.F., COSTA J. M. C. da. Avaliação físico-química e comportamento higroscópico de goiaba em pó obtida por *spray-dryer*. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 45, n. 3, p. 508-514, jul-set, 2014.

SANTOS L. M. L., MUNIZ J. L., PIRES A. P. M., ARAÚJO R. S. **Microencapsulação de ácido ascórbico em pó de acerola verde obtido por *spray dryer*.** XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – Florianópolis, 2014.

SILVA, F.R. N. **Efeitos do tratamento térmico em separado da polpa e do suco sobre a qualidade físico-química, microbiológica, enzimática e sensorial do suco de laranja mantido sob refrigeração.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2013.

SILVA L. L., CARDOSO L. M., SANTANA H. M. P. Influência do branqueamento, pasteurização e congelamento nas características físico-químicas, nos carotenoides e no valor de vitamina A de polpa de araticum (*Annona crassiflora* Mart.). **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, 74(1): 30-8, São Paulo , 2015.

SOARES E. C., OLIVEIRA G .S .F., MAIA G. A., MONTEIRO J. C. S., SILVA JR. A., FILHO M. de S. de S. **Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo “Foam-mat”**. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 21(2): 164-170, maio-ago. 2001.

SOUZA, J. S. **Secagem de misturas de polpa de frutas tropicais em leite de jorro**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SOUZA K. S. M., FIGUEIREDO R. M. F., QUEIROZ A. J. M., FERNANDES T. K. S. Produção e caracterização da polpa de atemoia em pó. **Rev.Bras., Frutic**, v.37, n.3, p.718-728, Jaboticabal – São Paulo, 2015.

SOUZA M. C., TEIXEIRA L. J. Q., ROCHA C. T., FERREIRA G. A. M., FILHO T. L. Emprego do frio na conservação de alimentos. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** – Goiânia, v.9, n.16, p.1027, 2013.

TANAKA, D. L. **Influência da desidratação por *spray drying* sobre o teor de ácido ascórbico no suco de acerola (*Malpighia* *ssp*)**. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2007.

TEIXEIRA M., MONTEIRO M. Degradação da vitamina C em suco de fruta. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v.17, n.2, p.219-227, abr./jun. 2006.

TEODORO , R. A. R. **Microencapsulação do óleo essencial de cravo-da-índia por secagem por atomização. 104f. 2016**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2016.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí: Influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

URBANO E. A., SOUZA JÚNIOR F. E., MEDEIROS U. K. L., MEDEIROS M.F.D. **Leite de cabra em pó produzido em leite de jorro: propriedades do pó.** VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Uberlândia – Minas Gerais, 2009.

VASCONCELOS M.A.S., FILHO A.B.M. **Conservação de alimentos.** Recife – EDUFRPE, 2010.

VICENZZI, R. **Tecnologia de frutas e hortaliças.** Curso de Química Industrial dos alimentos – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2012.

VISSOTO F. Z., MONTENEGRO F. M., SANTOS J. M., OLIVEIRA S. J. R. Avaliação da influencia dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 26(3): 666-671, jul.-set., 2006.

ZAIHAN, J. et al. The kinetics of water vapour sorption: analysis using parallel exponential kinetics model on six Malaysian hardwoods. **Journal of Tropical Forest Science**, p. 107-117, 2010.

ZOTARELLI, M. F. **Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem.** Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

APÊNDICE A

Valores do t obtido pelo Teste t realizado em todas as análises, exceto análise granulométrica, ângulo de escoamento, densidade compactada, isoterma, molhabilidade e rendimento.

Tabela 26 – Valores do t para o suco *in natura* sem maltodextrina

°Brix	pH	Vitamina C	Teor de sólidos totais
39,3837	359	32,9089	721,3992

Tabela 27 – Valores do t para o suco *in natura* acrescido de maltodextrina

°Brix	pH	Vitamina C
207	1051	39

Tabela 28 – Valores do t para o suco *in natura* com o teor de sólidos totais restituídos

°Brix	pH	Vitamina C
58,7952	142,6521	20,7881

Tabela 29 – Valores do t para o suco *in natura* em pó

Atividade de água	Coesão	Densidade aerada	Densidade de partícula
89,8319	75,2808	76,5115	8,3457

Fluxabilidade	Solubilidade	Umidade
47,7482	84,2959	20,5619

Tabela 30 - Valores do t para o suco congelado sem maltodextrina

°Brix	pH	Vitamina C
25,1973	25,841	97

Tabela 31 - Valores do t para o suco congelado acrescido de maltodextrina

°Brix	pH	Vitamina C
55,1784	316,9653	46

Tabela 32 - Valores do t para o suco congelado com o teor de sólidos totais restituídos

°Brix	pH	Vitamina C
587	1069	0

Tabela 33 - Valores do t para o suco congelado em pó

Atividade de água	Coesão	Densidade aerada	Densidade de partícula
635	198,7699	198,6564	1,6775

Fluxabilidade	Solubilidade	Umidade
137,2572	30,6813	65,3551

Tabela 34 - Valores do t para o suco da fruta congelada sem maltodextrina

°Brix	pH	Vitamina C
60,2853	67,2	12,6179

Tabela 35 - Valores do t para o suco da fruta congelada acrescido de maltodextrina

°Brix	pH	Vitamina C
150,0464	59,7647	6,4749

Tabela 36 - Valores do t para o suco da fruta congelada com o teor de sólidos totais restituídos

°Brix	pH	Vitamina C
	1079	31,1769

Tabela 37 - Valores do t para o suco da fruta congelada em pó

Atividade de água	Coesão	Densidade aerada	Densidade de partícula
68,9393	21,6503	20,7136	1,7701

Fluxabilidade	Solubilidade	Umidade
18,4294	41,2062	11,584