



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**AVALIAÇÃO DE UM SECADOR ROTATÓRIO COM RECHEIO DE INERTES NA
DESIDRATAÇÃO DO CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*)**

Tháise Cristina da Silva

Uberlândia – MG

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**AVALIAÇÃO DE UM SECADOR ROTATÓRIO COM RECHEIO DE INERTES NA
DESIDRATAÇÃO DO CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*)**

Tháise Cristina da Silva

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Química.

Uberlândia – MG

2018

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE THAÍSE CRISTINA DA SILVA
APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM 18 DE
DEZEMBRO DE 2018.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Marcos Antonio de Souza Barrozo
Orientador (FEQ/UFU)

Eng. MSc Neiton Carlos da Silva
FEQ/UFU

Eng. Dr. Gláucia de Fátima Moreira Vieira e Souza
FEQ/UFU

AGRADECIMENTOS

A partir deste momento novas metas e expectativas serão traçadas. Depois de mais uma etapa vencida não poderia deixar de agradecer àqueles que tornaram esse caminho árduo mais leve.

A Deus agradeço primeiramente pelo dom da vida, por se fazer presente a cada instante dela, sendo luz em todas as minhas decisões. Agradeço por estar sempre à frente dos meus planos e me fazer acreditar que sonhos podem se realizar.

Ao meus pais Vilma e Abrão sou eternamente grata e dedico essa conquista à vocês, que fizeram dos meus sonhos os seus e não mediram esforços para que eu pudesse obter mais esse mérito.

Ao meu noivo Diego agradeço por todo amor, companheirismo, paciência e por não me deixar desistir nos momentos de fraqueza.

A todos os amigos de faculdade, principalmente do grupo PET-Engenharia Química, agradeço pela companhia e os momentos de alegria e consolo. Vocês que se fizeram presentes nestes 5 anos e foram família durante todo esse tempo. Levo cada um dentro do coração.

Agradeço ao professor orientador Marquinhos, pelos ensinamentos e pela confiança ao me orientar neste trabalho.

Ao Neiton, pelo aprendizado, compreensão e paciência. Sua liderança e sabedoria durante todo esse tempo fez de mim e de toda a equipe de IC pessoas e profissionais melhores. Agradeço pelos conselhos e pela amizade que tornaram as atividades do laboratório mais cativantes.

À equipe de iniciação científica, Andressa, Cecília, Isabelle, Luís Victor, Thábata e Oscar, muito obrigado pela motivação, parceria, realização de objetivos e amizade.

A todos vocês, muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
INTRODUÇÃO	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. PRODUÇÃO DE FRUTAS NO BRASIL	3
2.2 - CAMU-CAMU	4
2.2.1 - Compostos fenólicos	6
2.2.2 – Flavonoides	7
2.2.3 - Ácido cítrico.....	8
2.2.4 - Ácido ascórbico.....	9
2.3 - DESIDRATAÇÃO DE ALIMENTOS.....	10
2.3.1 – Temperatura de Transição Vítea.....	11
2.3.2 – Maltodextrina.....	13
2.4. - SECADOR ROTATÓRIO.....	14
2.5 - SECAGEM DE CAMU-CAMU	17
MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 – MATERIAL	20
3.2 – APARATO EXPERIMENTAL	21
3.2.1 – Condições Experimentais	23
3.3 – ANÁLISES REALIZADAS	25
3.3.1 – Umidade e Atividade de Água	25
3.3.2 – Análises de Compostos Bioativos	25
3.3.2.1 - <i>Teor de Fenólicos Totais (TPC)</i>	26
3.3.2.2 - <i>Teor de Flavonoides Totais (TFC)</i>	26
3.3.2.2 – <i>Acidez (TA)</i>	26
3.3.2.3 – <i>Teor de Ácido Ascórbico (AA)</i>	27
3.3.3 – Análise da Temperatura de Transição Vítea (Tg).....	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 – CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE CAMU-CAMU <i>IN NATURA</i>	28
4.2 – SECAGEM DO CAMU-CAMU	30

4.2.1 – Umidade Final (UF) e Atividade de água (a_w).....	30
4.2.2 – Análise do Rendimento (%).....	32
4.2.3 – Análise dos compostos bioativos	35
CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – O camu-camu (<i>Myrciaria dúbia</i>)	5
Figura 2.2 – Estrutura química básica dos compostos fenólicos	6
Figura 2.3 – Estrutura química da flavanona	7
Figura 2.4 – Estrutura do ácido cítrico.....	8
Figura 2.5 – Estrutura do ácido ascórbico.....	9
Figura 2.6 – Diagrama representativo da transição entre os estados vítreo e gomosos para um material amorfo (Adaptado de Labuza et al., 2004)	12
Figura 2.7 – Fórmula estrutural das maltodextrinas	13
Figura 2.8 – Esquema de um secador rotatório com suspensores (PERRY e GREEN, 1997)	15
Figura 2.9 – Corte transversal do secador e diferentes tipos de suspensores.....	16
Figura 2.10 – Camu-camu em pó	18
Figura 3.1 – Polpa de camu-camu utilizada na secagem	20
Figura 3.2 – Secador Rotatório com Recheio de Inertes.....	21
Figura 3.3 – Figura Esquemática do Secador Rotatório com Recheio de Inertes	21
Figura 3.4 – Tambor rotatório (a), suspensores (b) e sistema de conexão (c)	22
Figura 3.5 – Inertes (a), ciclone <i>Stairmand</i> (b) e sistema de alimentação (c).....	23
Figura 4.1 – Polpa do camu-camu após as secagens.	32
Figura 4.2 – Camu-camu desidratado sem adição de maltodextrina	33
Figura 4.3 – Tambor rotatório (a) e inertes (b) após a conclusão do Experimento 1	33
Figura 4.4 – Camu-camu desidratado (a), tambor rotatório (b) e inertes (c) após a adição de maltodextrina ao processo	34
Figura 4.5 – Teor de fenólicos após a desidratação com diferentes concentrações de maltodextrina.....	35
Figura 4.6 – Teor de fenólicos após a desidratação em diferentes temperaturas	36
Figura 4.7 – Teor de fenólicos após a secagem em diferentes enchimentos e rotações	37
Figura 4.8 – Teor de flavonoides após a desidratação com diferentes concentrações de maltodextrina.....	37
Figura 4.9 – Teor de flavonoides após a desidratação em diferentes temperaturas	38
Figura 4.10 – Teor de flavonoides após a secagem em diferentes enchimentos e rotações	38
Figura 4.11 – Teor de ácido cítrico após a desidratação com diferentes concentrações de maltodextrina.....	39

Figura 4.12 – Teor de ácido cítrico após a desidratação em diferentes temperaturas	40
Figura 4.13 – Teor de ácido cítrico após a secagem em diferentes enchimentos e rotações ...	40
Figura 4.14 – Teor de ácido ascórbico após a desidratação com diferentes concentrações de maltodextrina.....	41
Figura 4.15 – Teor de ácido ascórbico após a desidratação em diferentes temperaturas	42
Figura 4.16 – Teor de ácido ascórbico após a secagem em diferentes enchimentos e rotações	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Condições experimentais na desidratação de camu-camu.....	24
Tabela 4.1 - Resultados das análises para o camu-camu <i>in natura</i>	28
Tabela 4.2 - Valores de umidade do camu-camu em diferentes estudos	29
Tabela 4.3 - Umidade Final e Atividade de Água da polpa de camu-camu desidratada	31
Tabela 4.4 - Rendimentos obtidos para diferentes concentrações de maltodextrina	32
Tabela 4.5 - Rendimentos obtidos para diferentes temperaturas.....	34
Tabela 4.6 - Rendimentos obtidos para diferentes enchimentos e rotações.....	34

RESUMO

O camu-camu (*Myrciaria dubia*) é um fruto tropical nativo da região Amazônica, que têm despertado interesse pelos elevados conteúdos de vitamina C, significativamente superiores aos encontrados nas frutas cítricas, como laranja, limão e acerola. Ao mesmo tempo, vários estudos têm identificado também uma grande quantidade de outros compostos nesse fruto, como fenólicos e carotenoides, de alto poder antioxidante e benéficos a saúde. Contudo o fruto do camu-camu é caracterizado por ter alto teor de umidade, o que favorece o crescimento bacteriano e degradação. Assim, esse trabalho teve como objetivo avaliar a desidratação da polpa de camu-camu utilizando um secador rotatório com recheio de inertes. O equipamento destaca-se pela viabilidade em secar materiais pastosos e pela obtenção de produtos diretamente na forma de pó, os quais podem ser utilizados nas mais variadas aplicações. Um problema que pode ocorrer durante a secagem ou estocagem de certos alimentos na forma de pó é a pegajosidade (*stickiness*) e compactação, que ocorrem quando as partículas do material acabam apresentando uma alta coesão e ficam aderidas à parede e outras estruturas dos secadores. A fim de solucionar tal problema foi avaliado também o efeito da adição de maltodextrina ao processo, que é caracterizada por promover maior estabilidade à secagem através do aumento da temperatura de transição vítrea do material. Para definição da melhor condição experimental de secagem da polpa, foram explorados os efeitos de diferentes concentrações do agente carreador (10, 15, 20 e 30%), da temperatura do ar de secagem (70, 90 e 110°C), do fator de enchimento (21, 28 e 35%) e da velocidade de rotação (55, 65 e 75 RPM) sobre o método de remoção de umidade, o rendimento do processo e os teores de compostos bioativos (fenólicos totais, flavonoides totais, ácido cítrico e ácido ascórbico). A melhor condição encontrada foi à temperatura de 90°C, 15% de concentração de maltodextrina, fator de enchimento de 28% e rotação de 65 RPM, atingindo um rendimento de 55,33%. Porém, todos os experimentos atingiram valores satisfatórios de umidade final, atividade de água e teores de compostos bioativos.

Palavras-Chave: Camu-camu, secador rotatório, desidratação, maltodextrina, bioativos

ABSTRACT

Camu-camu (*Myrciaria dubia*) is a tropical fruit native to the Amazon region, which has aroused interest due its high content of vitamin C, significantly higher than those found in citric fruits as orange, lemon and acerola. In the same time, a large number of other compounds have also identified in this fruit, such as phenolics and carotenoids, which have a high antioxidant power and are beneficial to health. However the camu-camu fruit is characterized by its high moisture content, which favors bacterial growth and degradation. The objective of this work was to evaluate the dehydration of the camu-camu pulp using a rotary drier with inert bed. The equipment stands out due to the feasibility of drying pasty materials and obtaining products directly in the form of powder, which can be used in a variety of applications. A problem that may occur during drying or storage of certain powder foods is the stickiness and compaction, which occur when the particles of the material exhibiting a high cohesion and adhesion to the wall and other structures of the dryers. In order to solve this problem, the effect of adding maltodextrin to the process, which is characterized by promoting greater drying stability by increasing the glass transition temperature of the material, has also been evaluated. The effects of different carrier concentrations (10, 15, 20 and 30%), the drying air temperatures (70, 90 and 110 ° C), the filling degree (21, 28 and 35%) and the velocity of rotation (55, 65 and 75 RPM) on the moisture removal method, the drying yield and the contents of bioactive compounds (total phenolics, total flavonoids, citric acid and ascorbic acid) were studied. The best condition found was at 90°C, 15% maltodextrin concentration, 28% filling degree and 65 RPM rotation, resulting in a drying yield of 55.33%. However, all experiments obtained satisfactory values of final moisture, water activity and bioactive compound contents.

Keywords: camu-camu, dehydration, rotary dryer, bioactives, maltodextrin

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de frutas tropicais no mercado nacional e internacional está relacionado ao crescente reconhecimento de suas propriedades nutricionais e potencial funcional (COSTA et al., 2013). Pesquisas têm mostrado que as frutas contêm diversos compostos que são responsáveis por manter inúmeras atividades metabólicas do organismo e reduzir o risco de doenças degenerativas (RAMÍREZ, 2015). Dentre esses compostos destacam-se vitaminas, carotenoides, flavonoides e outros polifenóis, que possuem alta capacidade antioxidante (RUFINO et al., 2010).

A produção mundial de frutas frescas corresponde a 800 milhões de toneladas anuais sendo que o Brasil é o terceiro maior produtor do mundo, com um total de 41,5 milhões de toneladas produzidas (FAO, 2015). O país também se destaca pela extensa biodiversidade de espécies frutíferas nativas e exóticas, sendo muitas ainda desconhecidas (FUJITA et al., 2013; RIBEIRO et al., 2016).

Dentre as frutas exóticas procedentes da região amazônica, o fruto do camu-camu (*Myrciaria dubia*) tem despertado interesse de indústrias farmacêuticas internacionais devido aos seus elevados teores de antioxidantes, em especial a vitamina C, a qual pode ser encontrada em concentrações muito superiores às presentes em frutos como o limão, laranja e acerola (NASCIMENTO; CARVALHO, 2012). Contudo, essa alta concentração de compostos antioxidantes acarreta um sabor ácido à fruta inibindo o seu consumo *in natura* (RODRIGUES et al., 2004).

Juntamente à essa acidez característica, a polpa de camu-camu também tem elevada quantidade de água, que torna o fruto altamente perecível (FUJITA et al., 2013). Nesse sentido faz-se necessário um método para conservação do material. Apesar da desidratação ser uma das técnicas mais antigas de preservação, a produção de frutas desidratadas é um mercado recente. Registros apresentam que algumas empresas já estão colocando no mercado brasileiro frutas desidratadas obtidas por secagem e liofilização, como chips, snacks e granulados de maçã, banana, morango, açaí e acerola (IBRAF, 2013).

Dentre as diversas técnicas de desidratação, destacam-se os tambores rotatórios, que têm sido estudados na secagem de fluidos e suspensões e apresentam extensa aplicabilidade nas

indústrias. Dentre suas vantagens estão a eficiência na remoção da umidade e promoção de uma secagem homogênea devido ao alto grau de mistura de partículas (KROKIDA et al., 2002; PERAZZINI, 2011). Contudo, a utilização do secador rotativo convencional para secagem de materiais pastosos é limitada, visto que podem ocorrer problemas como aglomeração do material e aderência do mesmo às paredes do secador. Nesse sentido, a utilização de recheio de inertes e agentes carreadores são alternativas que, apesar de pouco estudadas, promovem a melhoria do rendimento do processo (HONORATO, 2006, ZOTARELLI, 2014).

Diante de todos estes fatos, o objetivo deste trabalho foi realizar a desidratação do camu-camu utilizando um secador rotativo com recheio de inertes, analisando o impacto da variação das condições de operação sobre o processo de secagem e sobre o teor de compostos bioativos presentes no material.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PRODUÇÃO DE FRUTAS NO BRASIL

A legislação brasileira define frutas como “produto procedente da frutificação de uma planta, destinado ao consumo *in natura*, que devem ser procedentes de espécimes vegetais genuínos e sãos” (ANVISA, 1978). Dados do Instituto Brasileiro de frutas (IBRAF) mostram a importância e o crescente desenvolvimento da produção de frutas no Brasil: além de ser o terceiro maior produtor de frutas no mundo, em 2013 o país produziu 43,6 milhões de toneladas de frutas obtendo um aumento de 30% na produção de frutas frescas no período de 14 anos (IBRAF, 2013). Estes resultados demonstram a relevância da fruticultura em diversas regiões do Brasil. Além da sua importância na alimentação do ser humano essa atividade econômica está entre as principais geradoras de renda, de empregos e de desenvolvimento rural (BELING, 2005).

Dentre estas regiões, a Amazônica apresenta espécies de frutas nativas e exóticas com alto potencial nutritivo, porém ainda não exploradas (MARIUTTI et al., 2014). Na Amazônia Brasileira concentram-se 44% das 500 espécies de frutas nativas do país. Estudos mencionam a existência de 220 plantas produtoras de frutos comestíveis na região, mas ainda são poucas as domesticadas, vindo a maioria do extrativismo (CARVALHO, 2012). Destaca-se o desempenho do guaraná e do açaí, por apresentarem grande potencial de exploração comercial. Já os demais produtos, como o cupuaçu, o cajá e o camu-camu, ainda são produzidos e consumidos em pequena escala (CHIRINOS et al., 2010).

Estudos tem mostrado que existe uma relação benéfica entre a ingestão de frutas e vegetais e a saúde ao longo da vida, visto que atuam na proteção contra danos oxidativos, diminuindo a chance de desenvolvimento de problemas cardiovasculares, câncer e outras doenças crônicas (GENKINGER et al., 2004; NICKLETT et al., 2013). A principal fonte de antioxidantes está na ingestão de compostos provenientes da dieta, como vitaminas, compostos fenólicos e carotenoides, que atuam interagindo com os radicais livres antes que estes possam reagir com as moléculas biológicas (BERNARDES et al., 2010; RATMAN et al., 2006). Frutas que apresentam principalmente coloração vermelha e azul são as mais ricas fontes de compostos fenólicos em dietas alimentares (MORAES; COLLA, 2006).

2.2 - CAMU-CAMU

O camu-camu (*Myrciaria dubia*) também conhecido como araçá d'água, araçá de igapó, caçari, entre outros nomes populares, é uma espécie frutífera pertencente à família Myrtaceae. Esse arbusto tem um extenso habitat, que se estende pelas zonas de várzeas da maioria dos rios, lagos e igapós da Bacia Amazônica, desde os solos férteis peruanos até extremamente pobres, como os das praias de areia branca do Rio Negro (NASCIMENTO et al., 2013; PINTO et al., 2013; YUYAMA et al., 2010).

Segundo Arévalo (2002), existem dois tipos de camu-camu: o arbustivo e o arbóreo. Em regiões alagadas, como a amazônica, predomina o arbustivo, que cresce nas margens de rios e lagos de águas escuras, enquanto que o arbóreo pode ser encontrado em zonas de má drenagem. A diferença entre os tipos de cultivo fica evidente na morfologia das plantas, época de colheita, teor de vitamina C e conteúdo mineral dos frutos (RIBEIRO et al., 2016).

Tal fruto é típico também de bosque úmido tropical, caracterizado por temperaturas médias de 26°C, precipitação pluvial entre 1600 a 4000 mm, produzindo frutos entre os meses de novembro à março (OLIVEIRA, 2013). Produtores particulares e alguns órgãos governamentais do Brasil vêm tentando adaptar a cultura ao cultivo em áreas secas, visto que são muitos os entraves logísticos e econômicos da produção em regiões alagadas (ZANATTA; MERCADANTE, 2007). No entanto, tal adaptação pode levar a uma variação da composição dos frutos, conforme o tipo de plantio e a região de produção.

O fruto do camu-camuzeiro (Figura 2.1) é esférico e apresenta superfície lisa e brilhante, de cor vermelho escuro à púrpura-negro ao amadurecer, podendo ter de 1 a 3 cm de diâmetro e peso por volta de 10 g (MORAES DE SOUZA, 2011). Possui de uma a quatro sementes por fruto, as quais são achatadas ou reniformes, tendo de 5,5 a 11 mm de largura, cobertas por uma fina camada de fibras (GRIGIO et al., 2015). A polpa é suculenta e extremamente ácida, e com o amadurecimento, sua cor passa do amarelo esverdeado para rosa, possivelmente devido à migração das antocianinas da casca para a polpa (COSTA et al., 2013).



Figura 2.1 – O camu-camu (*Myrciaria dúbia*)

Atualmente o camu-camu apresenta grande potencial econômico e científico, o que desperta interesse das indústrias farmacêuticas do exterior, colocando-o no mesmo patamar de relevância de outras frutas tradicionais da região amazônica, como o açaí e cupuaçu (NASCIMENTO et al., 2013; RIBEIRO et al., 2016). Contudo, o sabor ácido da fruta inibe o consumo *in natura*. Devido à isso, a maior parte da produção de camu-camu é utilizada no preparo de sucos ou como ingrediente que pode ser misturado a outros produtos como néctares, doces, licores, vinhos, sorvetes, iogurtes ou bebidas isotônicas, como fonte de vitamina C (RODRIGUES et al., 2004). É uma matéria-prima em ascensão na indústria de alimentos, de cosméticos, química e farmacológica (HANCOCK;VIOLA, 2002).

O Peru é o principal produtor e exportador do camu-camu para países como Japão, Estados Unidos e União Européia (CAMERE COLAROSSO et al., 2016). Por ser um mercado principiante, existem poucas referências sobre exportações brasileiras desse fruto. A produção nacional de derivados da fruta, como polpa congelada, extrato e suco, é pequena (cerca de 20 toneladas / ano; custo médio de 4 a 10 dólares por quilograma) (INPA, 2011). Além disso, como boa parte do país tem pouca familiaridade ou acesso à essa fruta, muitos não tem conhecimento sobre suas propriedades, fazendo com que o mercado interno brasileiro permaneça inexplorado (CUNHA, 2018).

O camu-camu é uma das frutas com o mais alto teor já descoberto de vitamina C (VIDIGAL et al., 2011). Rufino et al. (2010) encontraram teores de vitamina C de $1882 \pm 43,2$ mg / 100 g de matéria fresca em frutos de camu-camu, enquanto que Chirinos et al. (2010) mostraram que os frutos totalmente amadurecidos continham 2010 ± 65 mg / 100 g de matéria fresca. O teor de vitamina C encontrado no camu-camu foi maior que os outros dezessete frutos brasileiros não tradicionais, como acerola ($1357 \pm 9,5$ mg / 100 g de matéria fresca) e açaí (84,0

± 10 mg / 100 g de matéria fresca) (RUFINO et al., 2010). Também foram identificadas através de pesquisas, a presença de compostos bioativos importantes nesse fruto, como fenólicos, flavonoides, antocianinas e carotenóides, extremamente relevantes para a saúde e que podem ser benéficos para retardar ou prevenir várias doenças, como as do tipo cardiovascular e câncer (FUJITA et. al., 2013).

2.2.1 - Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos constituem um conjunto de substâncias heterogêneas as quais são oriundas de metabólitos secundários dos vegetais, onde desempenham diversas funções fisiológicas. Estes compostos interferem no crescimento e reprodução das plantas e são formados em condições de estresse como processos de defesa contra agentes patogênicos, predadores ou radiação ultravioleta. São responsáveis pela cor, adstringência, aroma e estabilidade oxidativa nos alimentos e apresentam atividades antioxidante, antialérgica, anticarcinogênica, antimicrobianas, entre outras (KIM et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2011; ALARCÓN FLORES et al., 2013).

Estruturalmente, este grupo de compostos é caracterizado por ter anel aromático com um ou mais substituintes hidroxílicos, ou outros grupos funcionais, conforme mostra a Figura 2.2. O grupo mais significativo é o dos ácidos fenólicos derivados de ácidos hidroxibenzoicos, a exemplo do ácido gálico e o ácido hidroxicinâmico (NACZK; SHAHIDI, 2004; ISHIMOTO et al., 2006).

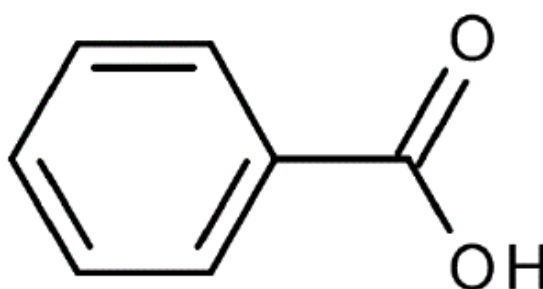


Figura 2.2 – Estrutura química básica dos compostos fenólicos

Atualmente existe um grande interesse nestes compostos, devido à variedade de atividades biológicas que desempenham, representando a grande classe dos fitoquímicos

alimentares; ressalta-se a atividade antioxidante dos compostos fenólicos a qual é relevante desde o ponto de vista tecnológico, até nutricional. Deste modo, alimentos que possuem alto teor destes compostos dispensam utilização de aditivos antioxidantes tornando-se naturalmente saudáveis e sendo considerados funcionais por auxiliarem em funções específicas do corpo (MARTÍNEZ VALVERDE et al., 2000).

Quanto a presença de compostos fenólicos no camu-camu, suas sementes e cascas destacam-se no conteúdo dos mesmos, que são significativamente mais abundantes nessas estruturas que em outras frutas tropicais. Essa alta concentração pode estar associada às características sensoriais como amargor e adstringência do fruto em produtos derivados, limitando sua aceitabilidade (DE SOUZA et al., 2014; NEVES et al., 2015).

2.2.2 – Flavonoides

Um dos principais compostos polifenólicos existentes são os flavonoides, inúmeros não somente na estrutura química mas também em suas características. Já foram identificadas mais de 5000 estruturas, dentre estas os flavonóis, as flavonas, as flavanonas, as antocianidinas e as isoflavonas (MOTILVA, 2013). A maioria dos representantes desta classe possui 15 átomos de carbono no seu núcleo fundamental, constituído de duas fenilas, ligadas por uma cadeia de três carbonos entre elas (Figura 2.3). Estão presentes naturalmente nas frutas e vegetais e são responsáveis por inúmeras funções, como a proteção contra raios ultravioleta, insetos, fungos, vírus e bactérias, além da capacidade de proporcionarem a atração de animais polinizadores (FLAMBÓ, 2013; YOKAZAWA et al., 1997).

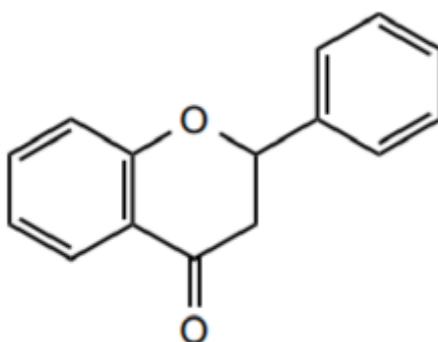


Figura 2.3 – Estrutura química da flavanona

Tais compostos são interessantes devido às suas diferentes propriedades, principalmente as bioativas, as quais compreendem efeitos antioxidantes, antimicrobiano, antiviral, anti-hepatotóxico, anti-hipertensivo, anti-inflamatório, dentre outros (PELZER et al, 1998). A concentração de flavonoides de algumas frutas já tem sido apresentadas na literatura, demonstrando o crescente interesse econômico e tecnológico nesses compostos, contudo, faz-se necessário maiores informações sobre essa composição, uma vez que ela pode variar de acordo com as modificações no cultivo, o tempo, o clima, grau de maturação, processamento e armazenagem (OLIVEIRA et al., 2011).

2.2.3 - Ácido cítrico

O ácido cítrico é um ácido orgânico (Figura 2.4) que na temperatura ambiente é caracterizado por ter sabor levemente ácido e ser um sólido branco e cristalino. Foi o primeiro ácido isolado em 1784, pelo químico sueco Carl Wilhelm Scheele, que o cristalizou a partir do suco do limão. Além de estar presente no sangue e ossos do corpo humano é também constituinte natural de plantas, mostrando-se em maior quantidade em frutas cítricas como limão e laranja (APELBLAT, 2014).

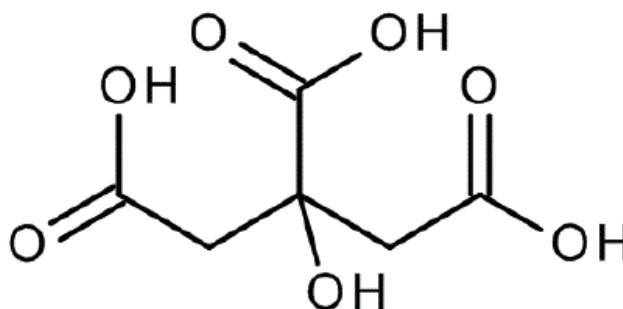


Figura 2.4 – Estrutura do ácido cítrico

O ácido cítrico tem sabor agradável, baixa toxicidade, alta solubilidade e facilidade de assimilação pelo organismo humano. Devido à essas propriedades apresenta uma série de aplicações industriais. Na indústria alimentícia é usado como aditivo (acidulante e antioxidante) na fabricação de refrigerantes, sobremesas, conservas de frutas, geleias, doces e vinhos. Além disso previne a turbidez, auxilia na retenção da carbonatação, incrementa os conservantes, confere sabor frutal característico, prolonga a estabilidade da vitamina C, reduz alterações de

cor, realça os aromas e tampona o meio (SILVA, 2014). O crescente interesse relacionado ao aumento da produção de ácido cítrico se deve às diversas aplicações avançadas, como na produção de biopolímeros e para a administração de fármacos, engenharia de tecidos e outras aplicações biomédicas (DHILLON, 2011).

2.2.4 - Ácido ascórbico

O ácido ascórbico, também conhecido como vitamina C, é um derivado de hexose (Figura 2.5) sintetizado por vegetais. É um potente antioxidante pois atua impedindo reações oxidativas e escurecimento de alimentos, sendo eficaz na conservação destes (FRACASSETTI et al., 2013; PIETTA, 2000). As principais fontes de vitamina C são as frutas sendo as mais ricas nesse composto as laranjas, tangerinas, limões, cerejas, acerola, melões e abacaxi e as verduras, normalmente utilizadas em saladas como couve, pimentão e brócolis (CAMARGO, 1984).

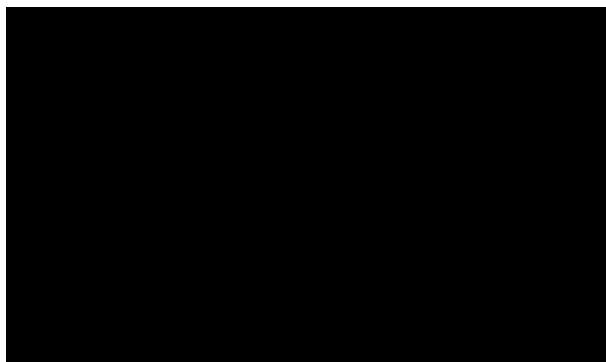


Figura 2.5 – Estrutura do ácido ascórbico

Por se apresentar bastante solúvel em água e ter elevada atividade antioxidante, a vitamina C é a primeira linha de defesa contra radicais derivados do oxigênio em meio aquoso. Atua em diversos processos vitais ao organismo como formação de tecido conjuntivo, produção de hormônios e anticorpos e biossíntese de aminoácidos. Também previne o escorbuto, regula o colesterol, aumenta fertilidade e diminui a propensão ao câncer (BENDICH; LANGSETH, 1995; SILVA 2014).

Recentemente tem havido uma maior preocupação no que diz respeito à qualidade nutricional dos alimentos. A relação entre dieta e saúde aumentou a demanda por produtos para suplementação alimentar, como a vitamina C, que é consumida principalmente na forma de

cápsulas e comprimidos efervescentes. Além disso, alguns fabricantes fornecem alimentos já enriquecidos com esta, como sucos em pó, bebidas isotônicas e outros produtos de frutas, como sorvetes, doces e geleias (BORTOLOTTI, 2012). Contudo, uma das maiores preocupações do mercado é o fato da vitamina C ser um dos nutrientes mais sensíveis às condições de processamento e armazenagem, sendo que seu teor nos alimentos, principalmente em frutas, pode ser influenciado por diversos fatores como pH, estocagem, quantidade de oxigênio e umidade, grau de maturação, condições de plantio, manuseio pré e pós-colheita, entre outros (CARVALHO; LIMA, 2002; SPÍNOLA et al., 2014).

2.3 - DESIDRATAÇÃO DE ALIMENTOS

A desidratação é uma das operações unitárias mais antigas e populares, utilizada para remoção de água de determinado material sob condições específicas de temperatura, pressão, dentre outros. A desidratação é um processo simultâneo de transferência de energia e massa entre o ar de secagem e o material a ser seco, acompanhado de mudança de fase, em que o aumento da temperatura ocasiona um incremento na pressão parcial de vapor no material provocando a redução no teor de água (MELO, 2016; YILBAS et al., 2003).

A principal função da desidratação de alimentos é inibir o crescimento microbiano através da redução da atividade de água (a_w), evitando a deterioração e aumentando o tempo de conservação do material (vida de prateleira), sem que esse perca consideravelmente suas propriedades biológicas e nutritivas (MADAMBA, 2007). Entretanto, Silva (2014) ressalta que quanto menores as perdas nutricionais mais dispendiosos são os processos de desidratação, uma vez que a intensidade destas perdas e alterações depende das condições utilizadas na operação de secagem e das características de cada produto.

Alimentos com A_w maior que 0,9 são considerados produtos com alta quantidade de água e sofrem contaminação biológica facilmente, pois soluções diluídas com os componentes do alimento são formadas e servirão de substrato para microrganismos. De modo geral, o limite inferior para crescimento de todos os microrganismos, é $aw < 0,6$, no qual têm reações extremamente lentas. Para regiões onde $A_w < 0,3$, as reações têm velocidades próximas de zero, pois as moléculas de água estão fortemente ligadas ao alimento não podendo dissolver seus componentes e praticamente não apresenta desenvolvimento microbiano (CELESTINO, 2010; RAHMAN, 2008).

Neste cenário surge a produção de frutas desidratadas em pó, que está associada principalmente à conveniência que estes produtos ofertam, à redução dos custos de transporte e armazenamento e à estabilidade química e microbiológica (uma vez que reações enzimáticas são inibidas e o risco de oxidação diminui), já que as frutas *in natura* são altamente perecíveis. Assim, a desidratação de frutos é um processo que agrega valor ao produto e diversifica sua utilização (FORNY et al., 2011).

Uma das propriedades que devem ser levadas em consideração nesses frutos desidratados é o seu comportamento quando em processamento tendo em vista que a estabilidade dos alimentos em pó é muito susceptível às variações ambientais, podendo ocorrer fenômenos indesejáveis, como colapso, *stickiness* (pegajosidade) e/ou *caking*, durante a produção e armazenamento (FORNY et al., 2011; ZOTARELLI, 2014).

2.3.1 – Temperatura de Transição Vítea

Transições de fase de primeira ordem são identificadas pelas mudanças de estado termodinâmicas de um sólido cristalino para um líquido, e de um líquido para um gás. Contudo, as alterações de estado físico causadas pela variação da temperatura, da pressão e/ou do teor de umidade em materiais também pode ser denominada transição de fase, mas de segunda ordem, pois não envolve calor latente (RAHMAN, 2008; ROOS, 1995). O que diferencia o estado sólido dos estados líquido e gasoso é sua capacidade de suportar forças cisalhantes e de recuperar a sua forma original depois de uma pequena deformação, sendo que a estrutura dos sólidos pode variar de amorfas complexas, que apresentam moléculas desalinhas e disposição mais aberta e porosa, até estruturas cristalinas simples, que possuem arranjo interno organizado e tem estado de equilíbrio mais estável (AGUILERA; STANLEY, 1999; BHANDARI, 2007).

Quando um material se encontra no estado amorfo ou em um estado metaestável não-cristalino de um sólido, diz-se que ele está no estado víteo. Nessa condição, a matéria mantém a estrutura, a energia e o volume de um líquido, mas as mudanças causadas pela temperatura na energia e no volume são similares, em magnitude, àquelas de um sólido cristalino (GOFF, 1992). O estado víteo é desejado em alimentos que tem crocância como biscoitos, batatas fritas, cereais matinais e alimentos desidratados como frutas em pó. Já a maciez associada ao estado gomoso é desejável em algumas frutas secas, como damasco e banana, e, também, em produtos industrializados, como é o caso de alguns biscoitos e recheios (BARONI, 2004; LABUZA, 2004).

Alguns produtos como sais, açúcar refinado, ácidos orgânicos, entre outros, se encontram na forma cristalina, que por ser mais estável, é uma característica desejável em alimentos (BHANDARI, 2007). Em geral, materiais mais estáveis ou em equilíbrio são compostos puros, a uma determinada temperatura e pressão, e sabe-se que a maior parte dos alimentos, por serem uma combinação de vários componentes, são sistemas complexos (ROOS, 1995). Nesse quesito, produtos alimentícios em pó que contém carboidratos amorfos (como a frutose e glicose, por exemplo) merecem atenção por serem metaestáveis e suscetíveis à plasticização pela água, e devido a isso podem passar por mudanças físicas como cristalização, pegajosidade, colapso e compactação durante o processamento, manipulação e estocagem (SLADE; LEVINE, 1991).

O termo transição vítrea refere-se à temperatura (ou às faixas de temperatura), nas quais ocorre a transição de uma estrutura vítrea para um estado *borrachoso* ou gomoso (AGUILERA; STANLEY, 1999). A transição do estado vítreo para o gomoso pode ocorrer tanto pelo aumento da temperatura, quanto pelo aumento na concentração de água ou decréscimo na concentração de sólidos, conforme mostra a Figura 2.6. Isso ocorre devido a água ser um agente plasticizante, ou seja, quanto mais água estiver presente, maior a mobilidade dos solutos e mais difícil a transformação para o estado vítreo. Conseqüentemente, menor a temperatura necessária para os ingredientes (incluindo a água) se transformarem nestes estados amorfos (BEST, 1992).



Figura 2.6 – Diagrama representativo da transição entre os estados vítreo e gomosos para um material amorfo (Adaptado de Labuza et al., 2004)

Portanto, o conhecimento da temperatura de transição vítrea e o mecanismo de transformação vítrea pode resultar em um índice para o comportamento físico e físico-químico de um produto alimentício, em especial para as indústrias que utilizam processos de

desidratação (secagem, atomização e liofilização) pois desperta a atenção para às consequências que podem ser causadas no processamento e vida útil dos mesmos devido à alteração de temperatura e umidade (KHALLOUFI et al., 2000; ROOS; KAREL, 1991).

2.3.2 – Maltodextrina

Devido às frutas serem ricas em açúcares de baixo peso molecular, a desidratação do suco das mesmas geralmente resulta em um pó com baixa temperatura de transição vítrea, alta higroscopicidade e pegajosidade. Tais características podem acarretar problemas como adesão às paredes do secador, aglomeração e dificuldade de manuseio, diminuindo o rendimento do processo (PHISUT, 2012). Visto isso, a adição de materiais poliméricos como adjuvantes de secagem visa aumentar a temperatura de transição vítrea para minimizar os problemas decorrentes da desidratação, além de aumentar o rendimento do produto e sua estabilidade em condições ambientais (BHANDARI et al., 1997).

Dentre os principais agentes carreadores utilizados em alimentos, as maltodextrinas (Figura 2.7) tem sido comumente usadas em sucos de frutas (MISHRA, 2017). Elas são produtos hidrolisados de amido e de seus componentes amilose e amilopectina, e são constituídas por uma mistura de sacarídeos, principalmente D-glicose, maltose e uma série de oligossacarídeos e polissacarídeos. São frequentemente classificadas pelos seus valores de dextrose equivalente (DE), que corresponde a medida dos açúcares redutores na base seca, fornecendo a extensão da hidrólise que a maltodextrina possui, sendo mais comuns os de DE menores que 20. Para DE maior que 20, os termos xarope ou dextrina são usados. Estão disponíveis no mercado na forma de um pó branco ou de soluções concentradas e contrariamente aos amidos naturais, as maltodextrinas são solúveis em água fria, tem baixa densidade, não apresenta sabor adocicado e não possuem sabor de amido, por isso são muito utilizadas nas indústrias de alimentos (CHRONAKIS, 1998; RODRIGUES, 2012).

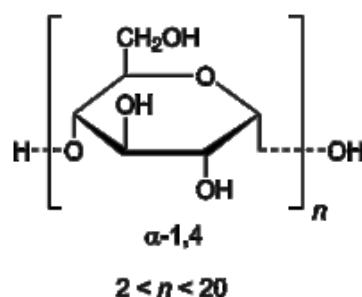


Figura 2.7 – Fórmula estrutural das maltodextrinas

As maltodextrinas podem ser produzidas industrialmente por dois tipos de hidrólise da molécula de amido: a enzimática, por meio das enzimas α -amilase ou pululanase, e a ácida, geralmente com ácido clorídrico (HCl) ou ainda pela combinação de ambas (CEREDA; VILPOUX, 2003). A maltodextrina advinda do processo puramente ácido tem desvantagens em relação aos outros métodos por ter forte tendência à retrogradação e escurecimento. Isso acontece pois fragmentos lineares de amido hidrolisado com ácido são grandes o suficiente para reassociar formando agregados insolúveis que atribuem características indesejáveis à maltodextrina como coloração escura e sabor amargo (CEREDA; VILPOUX, 2003; CHRONAKIS, 1998).

A maltodextrina pode ser adicionada em alimentos e usada como espessante, ligante, substituto de gordura, para fornecer consistência, prevenir a cristalização e controlar o congelamento e, além de melhorar a solubilidade e dar claridade em sobremesas, ainda podem ser aplicadas no encapsulamento de essências e aromas. Também fornecem consistência e corpo aos produtos secos e em pó como condimentos, e são usadas como enchimento em comprimidos (COUTINHO, 2007). A maltodextrina tem sido valorizada atualmente pelos benefícios promovidos à saúde, principalmente por produtos destinados à esportistas como suplementos alimentares. Além disso, têm sido adicionadas também em bebidas energéticas por serem carboidratos completos e possuírem uma digestão mais lenta, o que reduz a velocidade de liberação de açúcar no sangue, auxiliando no desempenho durante os exercícios físicos e na recuperação corporal. Este carboidrato também tem sido bastante aplicado em fórmulas infantis e produtos enterais (BRAGANÇA, 2005).

2.4. - SECADOR ROTATÓRIO

Os secadores rotatórios são equipamentos considerados bastante versáteis por terem aplicação em diversas operações e processos como secagem, mistura, granulação, resfriamento, aquecimento e calcinação. Dentre estas operações, são amplamente utilizados em secagem de produtos químicos, alimentícios, farmacêuticos, agrícolas e minerais e quando comparado com outros tipos de secadores tem a vantagem de possuir alta capacidade de processamento (MOURA, 2009; AJAYI; SHEEHAN, 2012). A conveniência e versatilidade do secador rotativo está associada à eficiência de secagem de materiais heterogêneos orgânicos e inorgânicos, promoção de uma secagem homogênea devido ao alto grau de mistura das partículas, obtenção de produtos de qualidades uniformes e à considerável facilidade de *scale-*

up tendo em vista a geometria do sistema (DING et al., 2001; SONG et al., 2003; KROKIDA et al., 2002; PERAZZINI, 2011).

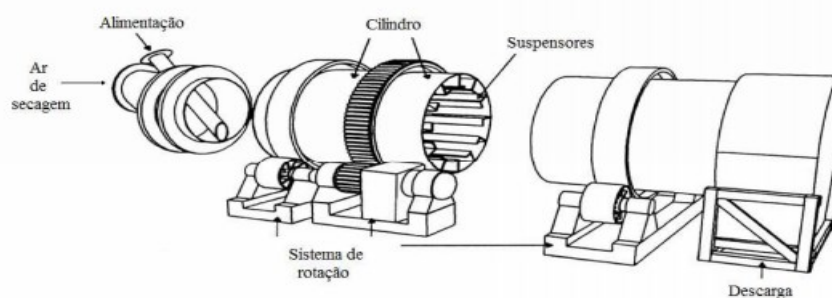


Figura 2.8 – Esquema de um secador rotatório com suspensores (PERRY; GREEN, 1997)

Tais equipamentos são compostos por um tambor cilíndrico, com uma pequena inclinação em relação à horizontal, que gira em torno do seu próprio eixo longitudinal, como demonstrado na Figura 2.8. Na secagem de alimentos, o revestimento interno desse tambor pode ser aço inox ou qualquer outro material que previna a contaminação do produto (HONORATO, 2006). O aquecimento do material pode ser direto ou indireto. O aquecimento direto ocorre quando o ar quente atravessa o interior do secador, trocando calor diretamente com o material. Nesta configuração o material é inserido na extremidade superior do secador e desloca-se em seu interior pela ação da gravidade. Nos secadores rotativos de aquecimento indireto, o material está no interior de um invólucro que é aquecido externamente por gases quentes que não entram em contato direto com o material (KROKIDA et al., 2007). O gás de secagem pode ser alimentado pela mesma extremidade que o material, caracterizando um fluxo concorrente, ou na extremidade oposta, sendo denominado fluxo contracorrente (MOURA, 2016; PERRY; GREEN, 1997).

Para produtos sensíveis ao calor, como as polpas de frutas, o arranjo contracorrente não deve ser utilizado, pois, apesar de reduzir o teor de umidade do material ao mínimo, a carga final pode ser excessivamente aquecida tornando o processo ineficiente. Já no fluxo paralelo ou concorrente, o tempo de residência do material no secador tende a ser menor, uma vez que o gás move-se na mesma direção do material. Isso é vantajoso caso exista tendência do produto grudar nas paredes do equipamento, pois o contato entre o material úmido e o gás proporciona uma rápida secagem superficial e imediata redução da temperatura do ar de secagem (MOURA, 2009; COULSON; RICHARDSON, 2001).

Geralmente no interior dos secadores rotatórios existem suspensores (Figura 2.9) que melhoram o transporte de sólidos e aumentam a superfície de contato com o gás aquecido. Tais

estruturas aumentam a taxa de transferência de calor e massa entre ar o de secagem e o sólido, uma vez que estes são cascateados dentro do secador. A queda destes sólidos em cascata e a inclinação em relação à horizontal, contribuem para a movimentação das partículas na direção axial do equipamento (NASCIMENTO, 2018). Para ter o máximo de aproveitamento da área de secagem e eficiente desempenho do secador, é necessário utilizar a configuração correta de suspensores, ou seja, o número, a dimensão e a forma deles variam de acordo com a necessidade do projeto (FREITAS, 2017; HONORATO, 2006).

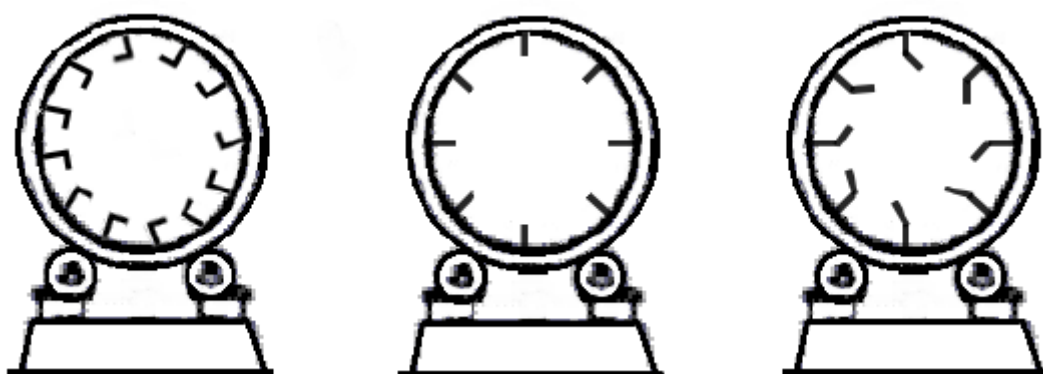


Figura 2.9 – Corte transversal do secador e diferentes tipos de suspensores.

Os secadores rotatórios convencionais têm excelente efetividade quando empregados na secagem de material particulado de escoamento livre, como grãos, açúcar e minérios, porém, nem sempre possuem desempenho satisfatório na secagem de materiais coesivos, lamas e pasta (FREITAS, 2017; HONORATO, 2006; LEE, 2008). Quando esses materiais são submetidos à processos térmicos, tendem a sofrer modificações em suas propriedades físicas que podem resultar em uma notável aderência do material às paredes dos secadores, formando aglomerados que prejudicam o rendimento do processo (PALLAI et al., 2007).

Devido a essas limitações, pastas e suspensões de materiais termossensíveis têm tido seu processo de desidratação estudado usando de um leito de sólidos inertes. Essa tecnologia tem como função aumentar a superfície de contato entre o ar de secagem e o material a ser seco. O material úmido se distribui sobre a larga superfície de contato formada pelos inertes, formando uma fina camada onde o processo de secagem ocorre, a qual é constantemente renovada. Devido a fricção entre as partículas, o material se desgruda da superfície do inerte e então é carregado pela corrente de ar, permitindo sua coleta já na forma desidratada e em pó (PALLAI et al., 2007).

Diversos tipos de materiais foram estudados em secador rotativo convencional. Kaleemullah e Kailappan (2005) estudaram a cinética de secagem da pimenta vermelha em secador rotatório; Meza et al. (2008) estudaram a secagem de biomassa de madeira em secador rotatório convencional. Perazzini (2011) estudou a secagem concorrente de resíduos cítricos em secador rotatório com alimentação contínua e aquecimento direto. Puadian et al. (2014) estudaram a secagem de biomassa de *Pinus Radiata* em secador rotatório convencional e Silva et al. (2016) estudaram o comportamento de um secador roto-aerado na secagem de resíduo de acerola proveniente da indústria de processamento de frutas e avaliaram o impacto da operação nos teores de compostos bioativos do mesmo.

Em relação ao uso de inertes em secadores rotatórios, alguns trabalhos podem ser mencionados. Burjaili (1996) utilizou um secador rotatório com recheio de inerte metálico e cerâmico para a secagem de pasta de levedura termolisada, resíduo proveniente da indústria de açúcar e álcool. Utilizando o mesmo sistema, Honorato (2006) secou subprodutos de camarões com alimentação concorrente e avaliou as variáveis: temperatura, velocidade do ar, vazão de alimentação e concentração encapsulante, verificando a eficiência térmica, umidade do pó obtido, tempo total de secagem e produção do pó em pontos do processamento.

Padilla et al. (2014) avaliaram a secagem de pasta de banana tendo como variáveis o tempo de secagem, massa de pasta alimentada e como resposta o teor de umidade e produção de farinha de banana. Moura (2016) estudou a secagem de resíduo de maracujá em secador rotatório com recheio de inerte, analisando diferentes condições de intermitência e de temperatura do ar de secagem, com o objetivo de avaliar a resposta na saída do secador da umidade do sólido, umidade do ar, temperatura do ar e massa produzida cumulativamente ao longo da secagem.

Freitas (2017) estudou a desidratação da microalga *Spirulina platensis* utilizando um secador rotativo com recheio de inertes e avaliou a influência das condições de operação no teor de compostos bioativos presentes no material, tendo em vista seu posterior aproveitamento.

2.5 - SECAGEM DE CAMU-CAMU

A secagem de camu-camu vem sendo recentemente avaliada por pesquisadores para encontrar a melhor metodologia de obtenção de um pó desidratado (Figura 2.10) que seja estável e que conserve o máximo de compostos bioativos. A seguir são descritos alguns estudos sobre a secagem de polpa de camu-camu.



Figura 2.10 – Camu-camu em pó

Dib Taxi (2001) estudou a microencapsulação do suco de camu-camu na secagem por atomização. Foi avaliado diferentes temperaturas do ar de entrada do secador e diversas concentrações do agente carreador além da estabilidade no armazenamento do produto. O estudo mostrou que para bons rendimentos tanto de matéria seca como de vitamina C a temperatura de entrada deve ser 150°C e a concentração do agente encapsulante de 15%.

Silva et al. (2006) estudaram a desidratação da polpa de camu-camu por liofilização, verificando a composição de diagramas de estado da polpa no estado natural e com adição de maltodextrina. Foi observado que, para a menor atividade de água estudada ($a_w = 0,11$), a T_g para a polpa natural foi um valor muito baixo (3,2 °C), enquanto a polpa com 30% (w/w) de maltodextrina apresentou uma T_g de 62,7 °C. Então verificou-se que a adição de maltodextrina aumentou a T_g do produto seco e diminuiu a natureza higroscópica da polpa de camu-camu liofilizada, melhorando as características e estabilidade do pó.

Silva et al. (2013) avaliaram a influência do uso de material de parede (maltodextrina e goma arábica), a uma concentração de 15% (w/w), no conteúdo de vitamina C e compostos fenólicos a partir da desidratação do suco de camu-camu por *spray dryer* a uma temperatura do ar de entrada de 180°C . Observou-se que quando se utiliza a goma arábica e a maltodextrina como agentes transportadores, os resultados de umidade obtidos para os pós de camu-camu secos por pulverização foram de 2,8% e 3,2%, respectivamente, e o rendimento do processo foi de 84% e 72%, respectivamente, sendo que o uso da goma arábica se mostrou mais eficaz que a maltodextrina para retenção de compostos bioativos.

Fujita et al. (2013) estudou o impacto da secagem do leite de jorro sobre compostos bioativos, atividades antioxidante e antimicrobiana, tendo como referência a polpa de frutas frescas e liofilizadas. A polpa comercial de camu-camu foi secada em leite em temperaturas selecionadas com diferentes concentrações de maltodextrina. A secagem do leite de jorro da polpa levou a perdas significativas dos compostos bioativos, em relação à liofilização, ainda que a maltodextrina pudesse proteger sua bioatividade.

Yuyama (2016) também avaliou a estabilidade oxidativa dos compostos bioativos na secagem de camu-camu por *spray dryer*. Foi constatado que dentre diversos agentes encapsulantes, a maltodextrina foi a que melhor preservou os compostos fenólicos do camu-camu além de obter considerável estabilidade quando submetida ao armazenamento.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – MATERIAL

O camu-camu utilizado foi fornecido por um sítio localizado na cidade de Ibiá, no estado de Minas Gerais. Foi necessário transformar os frutos do camu-camu em polpa, pois, como já relatado por Rahman et al. (2018) a secagem da polpa torna o produto final mais homogêneo, uma vez que a maioria das frutas e vegetais são compostos por estruturas de diferentes escalas e funções (cascas, polpas e sementes) que caso fossem secas separadamente resultariam em um produto heterogêneo. Dessa forma, para produção da polpa (Figura 3.1), adicionou-se água destilada na proporção mássica 3:4 (3 g de água para cada 4 g de fruto), batendo os frutos em liquidificador até conseguir uma pasta homogênea. A polpa foi então separada das sementes com o uso de uma peneira e armazenada em copos plásticos, envoltos em polietileno e papel alumínio, sendo mantidos em freezer (à -18°C). Para a realização dos experimentos, as amostras eram deixadas para descongelar à temperatura ambiente por cerca de seis horas. Após os mesmos, o material obtido era armazenado também em freezer até o momento das análises



Figura 3.1 – Polpa de camu-camu utilizada na secagem

3.2 – APARATO EXPERIMENTAL

Para a realização dos experimentos, utilizou-se o secador rotatório com recheio de inertes apresentado na Figura 3.2, o qual foi construído na própria Faculdade de Engenharia Química da UFU, baseado nos trabalhos de Honorato (2006) e Moura (2009 e 2016).

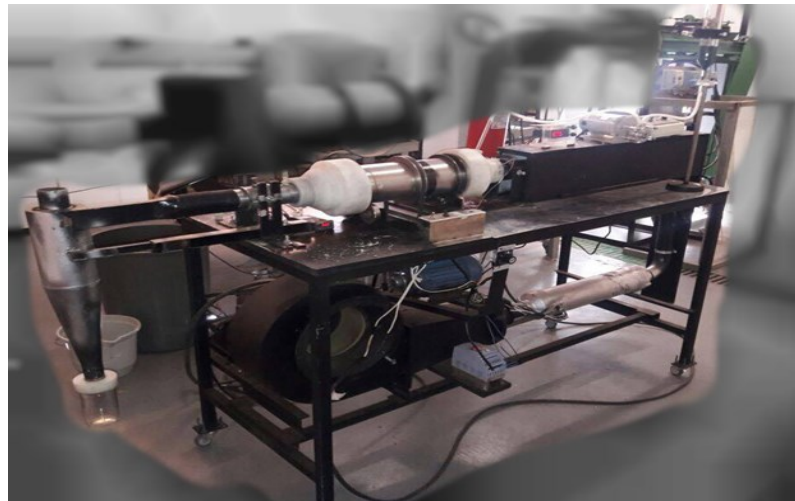


Figura 3.2 – Secador Rotatório com Recheio de Inertes

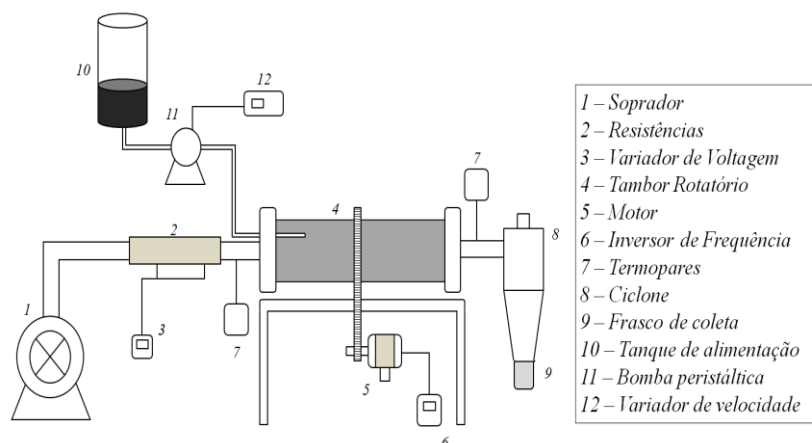


Figura 3.3 – Figura Esquemática do Secador Rotatório com Recheio de Inertes

Na Figura 3.3 é apresentada a unidade experimental de forma esquemática. O secador era composto basicamente por um sistema de injeção de ar (1), realizado por um soprador do tipo ventilador radial da marca Kepler Weber, modelo 112M, o qual forçava o ar através de um duto que continha um sistema de aquecimento elétrico, composto por duas resistências (2) acopladas a um variador de voltagem (3). A corrente de ar chegava então ao tambor rotatório

(4), o qual estava acoplado a um sistema de rotação composto por um motor da marca WEG, modelo W22 de 0,75 HP (5) e um inversor de frequência WEG, CFW-08 (6). Termopares do tipo K (7) foram instalados na entrada e saída do tambor rotatório. O sistema de coleta era composto por um ciclone (8) onde no *underflow* foi colocado um frasco de coleta (9). Já o sistema de alimentação era composto por um tanque onde era colocada a polpa de camu-camu *in natura* (10), a qual era bombeada por uma bomba peristáltica Masterflex, modelo 7553-70 (11) controlada por um variador de velocidade, para dentro do tubo de alimentação, localizado na parte central da entrada do túnel de secagem.

O tambor utilizado neste trabalho (Figura 3.4a) consistiu de um cilindro de aço inox com comprimento (L) de 36 cm e diâmetro (D) de 12 cm, gerando uma razão dimensional L/D = 3. Em suas bases foram colocados dois anéis de bronze visando uma melhor estabilidade de rotação. Já no interior do tambor foram fixados três suspensores radiais retos (Figura 3.4b) com 2,5 cm de altura. Tal configuração de suspensor foi adotada por ser mais adequada na secagem de materiais pastosos e pegajosos (KROKIDA et al., 2002; LISBOA, 2005). Quando montado (Figura 3.4c), o cilindro se conectava em duas peças de tecnil, apoiadas sobre anéis de teflon, resistentes ao atrito provocado pela rotação e era impulsionado por uma correia fixa em sua parte central e acoplada ao motor.

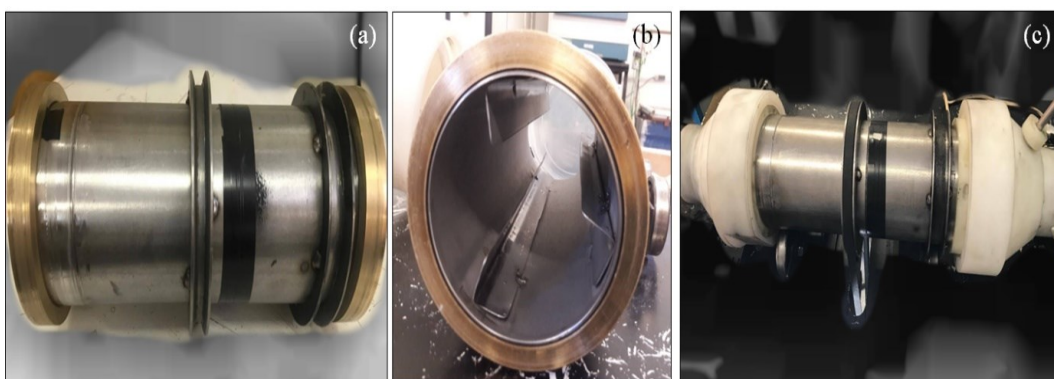


Figura 3.4 – Tambor rotatório (a), suspensores (b) e sistema de conexão (c)

O leito de inertes foi composto por esferas de porcelana de calcita (Figura 3.5a), com diâmetro de 1,905 cm (3/4 de polegada) e densidade de 2,32 g/cm³. Optou-se pelo inerte cerâmico devido sua resistência à abrasão, impedindo perda de material por desgaste que poderia ocasionar a contaminação do produto seco, e pelo próprio aquecimento que a mesma apresenta, o que auxilia no processo de secagem. O ciclone (Figura 3.5b) utilizado foi do tipo *Stairmand* com diâmetro de 10 cm. Já o sistema de alimentação é apresentado na Figura 3.5c.

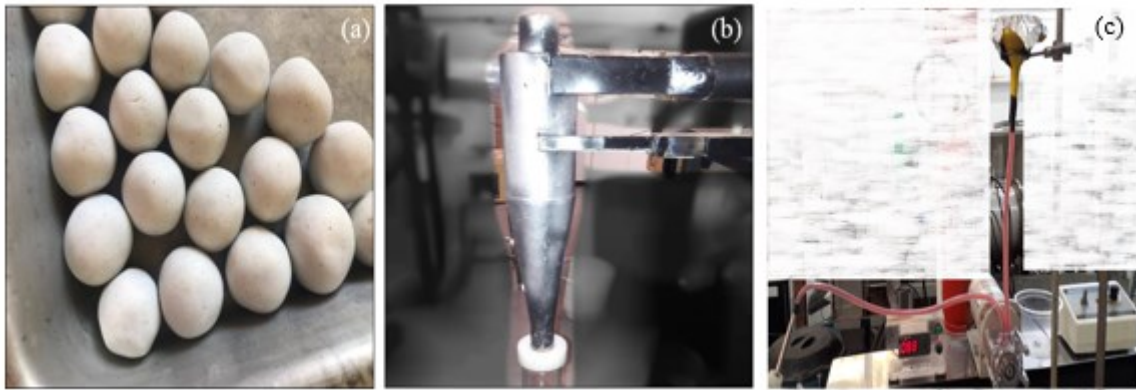


Figura 3.5 – Inertes (a), ciclone *Stairmand* (b) e sistema de alimentação (c)

3.2.1 – Condições Experimentais

Utilizou-se cerca de 100 g de polpa de camu-camu em cada experimento, alimentadas na forma de ciclos intermitentes. Em cada ciclo, cerca de 10 g do material eram introduzidos no tambor em operação e aguardava-se 5 minutos até a próxima alimentação, repetindo-se o ciclo até que toda massa fosse alimentada. Analisou-se os impactos das variáveis *Temperatura*, *Enchimento* e *Rotação* no processo de secagem, as quais tiveram como respostas o *Rendimento de Secagem* e os teores de compostos bioativos. Todos os experimentos foram realizados com a umidade relativa do ar na faixa de 30 a 45% a qual era medida ao longo do experimento com um termohigrômetro digital INCOTERM, TTH100, com precisão de $\pm 0,1\%$.

Além dessas variáveis, verificou-se os efeitos de diferentes concentrações de maltodextrina na polpa durante a secagem, realizando-se uma série de experimentos em concentrações distintas desse agente carreador: 10, 15, 20 e 30%. Após descongelada, a polpa era misturada com a maltodextrina (Loremalt, DE11), sendo a concentração calculada da seguinte forma: para 10% de maltodextrina, adicionava-se 10 g do agente carreador à 100 g de polpa, e assim, para as demais concentrações.

Em cada experimento, com a unidade montada e os equipamentos devidamente calibrados, ligava-se então o soprador e a *temperatura do ar* era ajustada e controlada através do variador de voltagem ligado às resistências, sendo monitorada pelos termopares posicionados antes e após o tambor rotatório. O sistema de controle do equipamento permitiu uma variação de temperatura de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, durante todos os experimentos. Atingindo-se a temperatura desejada, ligava-se então o sistema de rotação do tambor, controlando a *velocidade de rotação* através do inversor de frequência e monitorando seu valor através de um tacômetro

digital MINIPA, modelo MDT-2238A, com precisão de $\pm 0,1$ RPM. O *grau de enchimento* foi definido baseado na densidade e porosidade do leito de inertes utilizados, assim como nas dimensões do tambor rotatório, sendo calculado conforme metodologia de Machado (2016). O sistema ficava em operação por cerca de 30 minutos, garantindo que se atingisse o equilíbrio térmico e fluidodinâmico do sistema. Nesse momento, o frasco de coleta, previamente pesado, era acoplado ao *underflow* do ciclone.

Com o sistema preparado, as amostras eram então alimentadas ao tanque reservatório e bombeadas para o secador. O tempo inicial de partida do experimento foi considerado como o momento em que se iniciou a alimentação do material. Ao término da alimentação de todo o material, o secador foi deixado em operação por 90 minutos com o intuito de liberar todo o material ainda aderido aos inertes e paredes do tambor, maximizando a coleta. Após isso, o sistema era desligado e o frasco de coleta era então retirado e pesado, permitindo o cálculo do *Rendimento de Secagem*, que consistiu na relação entre a massa seca coletada e a massa seca alimentada ao sistema, expressa em porcentagem (%).

A vazão do ar foi mantida constante em todos os experimentos no valor de $0,92 \text{ m}^3/\text{min}$, correspondente a capacidade máxima do soprador, visando maximizar a coleta do material desidratado pelo ciclone.

Os experimentos realizados são apresentados na Tabela 3.1

Tabela 3.1 - Condições experimentais na desidratação de camu-camu

Experimento	Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)	Enchimento (%)	Rotação (RPM)
1	70	0	28	65
2	70	10	28	65
3	70	15	28	65
4	70	20	28	65
5	70	30	28	65
6	90	15	28	65
7	110	15	28	65
8	90	15	21	65
9	90	15	35	65
10	90	15	28	55
11	90	15	28	75

3.3 – ANÁLISES REALIZADAS

O material *in natura* e desidratado passou por uma série de análises com o objetivo de verificar os impactos das variáveis do processo sobre seus teores de bioativos, umidade e atividade de água. A seguir são explicadas as metodologias utilizadas em cada análise.

3.3.1 – Umidade e Atividade de Água

O teor de umidade foi determinado através método da estufa submetendo as amostras à $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas (AOAC, 1995). Visando complementar as análises, mediu-se também o teor de Atividade de Água (Aw) através do equipamento Lab-Swift AW, Novasina (Figura 3.6).



Figura 3.6 – Estufa Marconi modelo MA033 e Lab-Swift AW, Novasina.

3.3.2 – Análises de Compostos Bioativos

Neste trabalho, foram analisados os seguintes compostos bioativos: fenólicos totais, flavonoides totais, teor de ácido cítrico e ácido ascórbico. Em todas os experimentos, as amostras foram pesadas previamente em balança com precisão de 10^{-4}g , da fabricante Shimadzu, modelo AY220.

Na determinação dos compostos fenólicos e flavonoides, utilizou-se o método de extração com metanol absoluto, utilizando cerca de 20 mL do mesmo. Colocava-se este reagente em contato com as amostras em um tubo nalgene com tampa e agitava-o em vórtex NSA002441, 50Hz, da Edutec por cerca de 3 minutos. Após a agitação, armazenava-se a mistura em local escuro por 1 hora a fim de obter-se uma maior extração dos compostos presentes. Ao fim do tempo, filtrava-se o sobrenadante utilizando filtros de papel Mellita

Original, modelo 102, tomando-se cuidado para que o corpo de fundo permanecesse no tubo e então, iniciavam-se as análises, realizadas em triplicata. Para obtenção dos teores de ácido cítrico e ácido ascórbico, amostras entre 0,5 – 1,0 g foram maceradas com água destilada até completar o volume de 250 mL, sendo que a maceração deve ocorrer durante 1 minuto para cada 50 mL de água. Em seguida filtrou-se a solução em um coador de pano, e então o filtrado, denominado “extrato” ou “suco”, era submetido às análises.

3.3.2.1 - Teor de Fenólicos Totais (TPC)

Segundo Singleton e Rossi (1965) o teor de compostos fenólicos totais (TPC) é determinado adotando-se o método de *Folin-Ciocalteu*, o qual utiliza ácido gálico ($C_7H_6O_5$) como padrão e leitura em espectrofotômetro. O reagente de *Folin-Ciocalteu* é uma solução de íons complexos poliméricos formados a partir de heteropoliácidos fosfomolibdicos e fosfotungsticos, responsável por oxidar os fenolatos, reduzindo os ácidos a um complexo azul Mo-W, possibilitando sua leitura no espectrofotômetro (SILVA, 2015). Para as análises realizadas, efetuou-se a leitura dos extratos obtidos em espectrofotômetro à 622 nm e os resultados foram obtidos considerando-se o ácido gálico como padrão. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico / 100 g amostra em base seca.

3.3.2.2 - Teor de Flavonoides Totais (TFC)

Aplicando-se o método colorimétrico, segundo Zhishen et al. (1999), com leitura em espectrofotômetro, determinou-se teor de flavonoides totais (TFC). Tal método utiliza cloreto de alumínio ($AlCl_3$) como agente de deslocamento para diminuir a interferência de outros compostos na leitura de absorvância da solução. A leitura foi realizada à 450 nm e os resultados foram obtidos considerando-se a rutina ($C_{27}H_{30}O_{16}$) como padrão. Os resultados foram expressos em mg de rutina / 100 g amostra em base seca.

3.3.2.2 – Acidez (TA)

Este método tem como objetivo determinar a presença de ácido cítrico na amostra. A análise foi realizada utilizando-se do método da *Association of Official Analytical Chemists* – AOAC (1995), onde os extratos obtidos na maceração foram titulados com NaOH 0,1 N

padronizado até a viragem. Os resultados foram expressos em mg de ácido cítrico / 100 g amostra em base seca.

3.3.2.3 – Teor de Ácido Ascórbico (AA)

O teor de ácido ascórbico também foi determinado por titulometria, em metodologia que se baseia na redução do composto 2,6-diclorofenol-indofenol (DCFI) pelo ácido ascórbico. Nesta análise ácido oxálico 2% é adicionado aos extratos obtidos na maceração e a solução resultante foi titulada com solução de 2,6-diclorofenol-indofenol (DCFI) 0,025% padronizado. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico/ 100 g amostra em base seca (AOAC, 1995).

3.3.3 – Análise da Temperatura de Transição Vítreia (Tg)

As amostras foram submetidas à análise por calorimetria diferencial de varredura (DSC) para determinação da Temperatura de Transição Vítreia (Tg). Usou-se um equipamento de DSC da TA Instruments (New Castle - EUA), Modelo Q20 V24.4 Build 116, o qual foi calibrado e operado com nitrogênio gasoso na vazão de 50 mL/min. As amostras foram colocadas em cápsulas de alumínio, pesadas e fechadas hermeticamente, sendo então resfriadas até -70°C e em seguida aquecidas até 120°C, à uma taxa constante de 10°C/min.

A transição vítreia pode ser identificada nos gráficos obtidos por DSC como uma região onde ocorre mudanças no fluxo de calor devido à alterações na capacidade calorífica, sendo assim a Tg definida como o ponto médio dessa região. Os dados encontrados foram analisados utilizando o software Universal Analysis V4.5a (TA Instruments, New Castle – EUA), que permitiu o cálculo da Tg.

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta todos os resultados obtidos nas secagens e análises das amostras dos frutos do camu-camu. São apresentados inicialmente os resultados obtidos para a polpa *in natura*, os quais servirão de base para comparação com os efeitos sofridos pela mesma após a desidratação. Em seguida são apresentados os resultados da polpa desidratada, analisando o rendimento de cada experimento, a umidade final, a atividade de água e a variação nos teores dos compostos bioativos.

4.1 – CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE CAMU-CAMU *IN NATURA*

Os resultados obtidos para a polpa do camu-camu *in natura* estão apresentados na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 - Resultados das análises para o camu-camu *in natura*

Análise	Resultados
Umidade (%)	90,24 ± 0,30
Atividade de água (a_w)	0,968
Fenólicos (mg ácido gálico/100g base seca)	774,07 ± 18,59
Flavonoides (mg rutina/100g base seca)	4,81 ± 0,43
Acidez (mg ácido cítrico/100g base seca)	24642,84 ± 347,08
Ácido ascórbico (mg ácido ascórbico/100g base seca)	377,94 ± 17,69
Temperatura de transição vítrea (Tg)	-4,27°C

Os resultados das análises de caracterização da polpa *in natura* do camu-camu mostraram que o teor de umidade obtido foi de 90,24 ± 0,30 % em base úmida, sendo esse um valor bem próximo ao dos autores citados na Tabela 4.2, destacando-se o valor encontrado por De Souza et al (2010). A alta quantidade de água presente no material justifica ainda mais a necessidade de se desidratar o produto, pois garante um tempo maior de armazenamento, e impede a multiplicação de micro-organismos e reações degradativas que, por conseguinte, gerariam a perda do produto (SANTOS, 2010).

Em relação à atividade de água, que expressa o grau de disponibilidade da água num alimento, é recomendado que o valor seja menor que 0,6 pois esse é o limite inferior para

crescimento microbiano (RAHMAN, 2008). A água livre dos alimentos é a que está disponível para o crescimento de microrganismos, germinação de esporos e para a participação em vários tipos de reações químicas e, no caso do camu-camu, assim verifica-se que o valor da atividade de água favorece o crescimento microbiano, justificando a necessidade de remoção da umidade.

Tabela 4.2 - Valores de umidade do camu-camu em diferentes estudos

Autor	Ano	Umidade (%)
DIB TAXI	2001	91,3
SILVA et al.	2006	93,3
ARÉVALO	2007	92,4
DE SOUZA et al.	2010	90,2
MORAES-DE-SOUZA	2011	92,8
FUJITA et al.	2013	92,9

Vasco (2009) definiu um intervalo em que a concentração de fenólicos é considerada baixa e alta. Produtos de concentração abaixo de 100 mg de ácido gálico/100g são considerados produtos com baixa teor de fenólicos enquanto os que possuem valor acima de 1000 mg de ácido gálico/100 g são considerados produtos de alta concentração destes compostos. Os valores obtidos de concentração de fenólicos para a polpa de camu-camu *in natura* foram de $774,07 \pm 18,59$ mg/100 g, significando que o material possui uma concentração intermediária destas substâncias. Tal conteúdo se aproximou do valor encontrado por Silva et al. (2013), que obteve valores entre 575 a 671 mg ácido gálico/ 100 g. Já Chirinos et al. (2010) encontrou valores mais elevados desse teor, sendo estes entre 1320 e 2010 mg ácido gálico/ 100g. Essa diferença é justificada pelo fato de que o camu-camu analisado é oriundo do Peru e possui cultivo diferente, e ainda, foram analisados frutos em diversas fases de maturação (RIBEIRO et al., 2016).

O teor de flavonoides encontrados para a amostra *in natura* foi de $4,81 \pm 0,43$ mg/100 g amostra seca, valor considerado elevado quando comparado a de outras frutas como o resíduo de maracujá estudado por Silva (2015) que mostrou teores de $0,47 \pm 0,05$ mg rutina/100 g amostra seca ou nos de resíduos de acerola, descritos por Silva et al. (2016) que atingiram valores de $1,33 \pm 0,14$ mg / 100 g amostra seca.

A acidez da polpa de camu-camu *in natura* foi de $24642,84 \pm 347,08$ mg/100 g amostra seca. Tal valor se mostrou extremamente superior ao obtido por Silva (2015) na análise dos resíduos de maracujá *in natura*, cerca de $2701,35 \pm 89,13$ mg ácido cítrico / 100 g base seca e até mesmo ao de frutas cítricas, como o limão, que possui valores próximos de 5080 mg/100g,

teor encontrado por Penniston et al. (2008). O valor elevado desse composto justifica o baixo consumo do fruto *in natura*, o que leva à necessidade de se encontrar meios para o processamento dessa polpa.

O teor de ácido ascórbico obtido foi de $377,94 \pm 17,69$ mg / 100 g amostra seca. O camu-camu é caracterizado por possuir o teor mais elevado de ácido ascórbico encontrado em fonte natural, ultrapassando teores de frutas até então populares pelo conteúdo de vitamina C, como a laranja (ALBERTINO et al., 2009). Fujita et al. (2013) encontrou valores de $150,3 \pm 0,2$ mg / 100 g amostra seca e Genovese et al. (2008) obteve teores de 397 ± 21 mg / 100 g polpa, valores esses que mais se aproximam do obtido por este trabalho. Apesar disso, os teores encontrados ainda estão abaixo dos obtidos por Chirinos et al. (2010), (2095 ± 185 mg ácido ascórbico/ 100 g de polpa) e, assim como no teor de fenólicos, essa diferença também pode ser atribuída à região de plantio, variedade, estágio de maturação, presença de enzimas, entre outros (VILLANUEVA et al., 2010).

A temperatura de transição vítrea da polpa de camu-camu foi de $-4,26^{\circ}\text{C}$, valor considerado baixo e de difícil estabilidade. O mesmo se aproxima do encontrado por Silva et al. (2006), que foi de $-3,2^{\circ}\text{C}$. Esse valor reduzido justifica-se pelas altas concentrações de ácidos cítrico e ascórbico presentes no material, uma vez que o camu-camu apresenta baixas concentrações de açúcares quando comparado com outras frutas (SILVA et al., 2006).

4.2 – SECAGEM DO CAMU-CAMU

4.2.1 – Umidade Final (UF) e Atividade de água (a_w)

Conforme abordado no Capítulo 2, o principal objetivo da desidratação de um alimento é promover a retirada de água e por consequência prolongar sua vida útil. Contudo, desidratar um alimento possui outras vantagens como, por exemplo, a diminuição de volume, que favorece a redução de custo no transporte. Além da umidade, a atividade de água é um dos fatores mais importantes para o processamento, conservação e armazenamento dos alimentos, pois ela quantifica o grau de ligação da água contida no produto e sua disponibilidade para o crescimento microbiótico e para as possíveis reações responsáveis por degradar alimentos. (CELESTINO; JANGAM et al., 2010). A umidade final e a atividade de água da polpa desidratada de cada experimento estão expressas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Umidade Final e Atividade de Água da polpa de camu-camu desidratada

Experimento	Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)	Enchimento (%)	Rotação (RPM)	Umidade (%)	Atividade de Água (Aw)
1	70	0	28	65	10,82	0,369
2	70	10	28	65	6,20	0,327
3	70	15	28	65	5,40	0,293
4	70	20	28	65	4,59	0,276
5	70	30	28	65	3,66	0,240
6	90	15	28	65	4,44	0,229
7	110	15	28	65	3,56	0,251
8	90	15	21	65	4,56	0,234
9	90	15	35	65	4,80	0,267
10	90	15	28	55	4,18	0,232
11	90	15	28	75	3,88	0,211

Através da análise dos resultados mostrados na tabela 4.3 observou-se que, em todos os experimentos, a polpa desidratada (Figura 4.1) atingiu valores satisfatórios de atividade de água e umidade final, visto que em algumas literaturas a faixa de umidade desejável para armazenamento de um alimento desidratado é inferior a 10% (ANGEL et al., 2009).

O menor valor foi obtido quando as condições operacionais estavam em maior temperatura e em valores intermediários de fator de enchimento, rotação e concentração de maltodextrina. Quando se alterou o valor de uma variável e manteve-se todas as outras constantes foram observados comportamentos distintos: variando-se a rotação, o menor valor de umidade foi obtido para o maior valor desta variável; o mesmo ocorreu quando variou-se a concentração de maltodextrina e a temperatura, sendo que o aumento destas variáveis impactaram positivamente na remoção de umidade.

Tal impacto é justificado pela cinética de remoção de umidade ser superior com temperatura de ar de secagem maior, bem como o contato gás-sólido ser mais eficiente utilizando maior rotação do tambor de secagem (LIMAVERDE JR., 2000). Além disso, a adição de maltodextrina aumenta o conteúdo de sólidos totais da polpa, reduzindo a quantidade de água a ser evaporada, o que acarreta a diminuição da umidade dos pós produzidos. No entanto, ao modificar os valores de fator de enchimento notou-se um comportamento diferente, sendo que o menor valor de umidade é observado para um fator de enchimento intermediário. Contudo, deve-se analisar se os teores de compostos bioativos foram impactados nas condições onde a desidratação foi mais eficaz, além de avaliar outros aspectos como gasto de energia e eficiência em termos de operação.



Figura 4.1 – Polpa do camu-camu após as secagens.

4.2.2 – Análise do Rendimento (%)

Os rendimentos obtidos para o camu-camu desidratado com diferentes concentrações de maltodextrina estão expostos na Tabela 4.4 abaixo.

Tabela 4.4 - Rendimentos obtidos para diferentes concentrações de maltodextrina

Experimento	Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)	Enchimento (%)	Rotação (RPM)	T _g (°C)	Rendimento (%)
1	70	0	28	65	-4,27°C	38,23%
2	70	10	28	65	36,05°C	49,85%
3	70	15	28	65	41,43°C	52,32%
4	70	20	28	65	48,79 °C	52,08%
5	70	30	28	65	43,86 °C	46,73%

Através da Tabela 4.4 observou-se que a justificativa de se utilizar a maltodextrina como agente carreador está demonstrada pelo rendimento do Experimento 1. Em tal experimento foi obtido um produto com aspecto pegajoso e com partículas aglomeradas (Figura 4.2) e com grande aderência às paredes internas do secador rotatório e ao material inerte (Figura 4.3) gerando um baixo rendimento.

Conforme discutido no Capítulo 2, a adição de agentes carreadores na polpa aumenta consideravelmente a temperatura de transição vítrea, melhorando as características e estabilidade do pó. Como a temperatura de transição vítrea do material mostrou-se baixa (-4,27°C), a maltodextrina foi extremamente útil para aumentá-la, visando evitar os problemas operacionais que ocorreram no experimento sem o uso da mesma. Autores como Zotarelli

(2014), que estudou a produção de manga em pó e Fazaeli et al. (2012), que avaliou a produção de suco em pó de amora preta, provaram que o aumento da concentração do agente carreador no suco ou na polpa aumentou significativamente o rendimento do processo, devido ao aumento dos valores de Tg das frações amorfas nas misturas.



Figura 4.2 – Camu-camu desidratado sem adição de maltodextrina

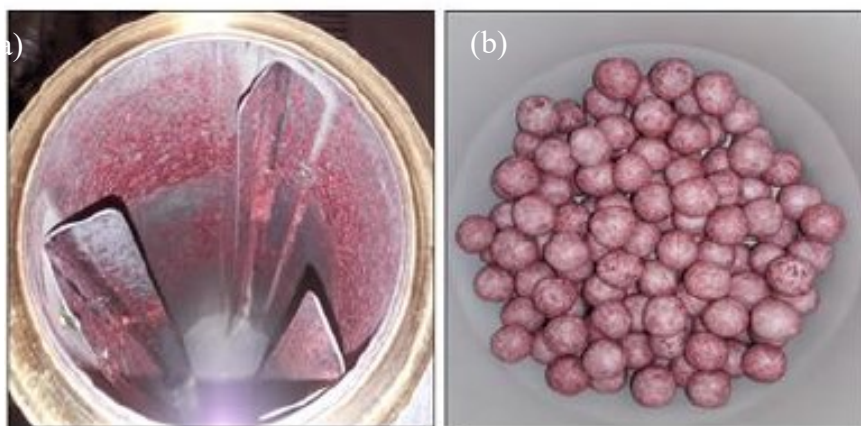


Figura 4.3 – Tambor rotatório (a) e inertes (b) após a conclusão do Experimento 1

Visando um maior rendimento, foram utilizadas concentrações de maltodextrina de 10, 15, 20 e 30% para experimentos com temperatura, fator de enchimento e rotação constantes (Experimentos, 2, 3, 4 e 5). A partir dos dados experimentais notou-se um crescimento no valor do rendimento até uma concentração intermediária do agente carreador e, a partir deste ponto o rendimento decaiu. A partir disso, encontrou-se o melhor ponto para a concentração de maltodextrina, sendo este o valor de 15% (Experimento 3). Os efeitos do uso da maltodextrina podem ser observados na Figura 4.4, onde são apresentados o tambor rotatório e os inertes nos

experimentos com a presença de maltodextrina. Constatou-se que, além da obtenção de um pó mais fino e menos pegajoso, a adesão do material à estes componentes do secador foi mínima, o que é confirmado também pelo aumento do rendimento.



Figura 4.4 – Camu-camu desidratado (a), tambor rotatório (b) e inertes (c) após a adição de maltodextrina ao processo

A partir dessa concentração, variou-se a temperatura, mantendo a velocidade de rotação e o fator de enchimento constantes (Tabela 4.5). Verificou-se que o rendimento aumentou com o acréscimo da temperatura, entretanto, a diferença entre os experimentos 6 e 7 (90°C e 110°C) foi mínima, sendo preferencial neste caso a escolha do experimento de menor temperatura visando um menor gasto energético do processo.

Tabela 4.5 - Rendimentos obtidos para diferentes temperaturas

Experimento	Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)	Enchimento (%)	Rotação (RPM)	Rendimento (%)
3	70	15	28	65	52,32%
6	90	15	28	65	55,33%
7	110	15	28	65	55,36%

Definidos os pontos ótimos de concentração de maltodextrina e temperatura, avaliou-se o efeito da rotação e do enchimento no rendimento.

Tabela 4.6 - Rendimentos obtidos para diferentes enchimentos e rotações

Experimento	Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)	Enchimento (%)	Rotação (RPM)	Rendimento (%)
8	90	15	21	65	50,82%
9	90	15	35	65	55,40%
10	90	15	28	55	53,86%
11	90	15	28	75	49,51%

A partir da tabela 4.6 notou-se que a medida que o fator de enchimento aumentou, o rendimento também aumentou, muito provavelmente por ampliar a superfície de contato entre o ar de secagem e o material a ser seco. Comparando-se os experimentos 6 e 9 verificou-se que a diferença entre os rendimentos foi pequena, então optou-se por utilizar um valor intermediário de fator de enchimento (28%). Entretanto quando houve um incremento na rotação, o comportamento foi semelhante ao obtido para concentração de maltodextrina. A partir disso, encontrou-se o melhor ponto para a rotação também no experimento 6 (65 RPM), no qual o valor de rendimento obtido foi maior que nos experimentos 10 e 11.

Portanto o Experimento 6, no qual utilizou-se 15% de concentração de maltodextrina, temperatura do ar de secagem de 90°C, fator de enchimento de 28% e rotação igual a 65 RPM, foi a melhor condição para maximização do rendimento entre as condições estudadas.

4.2.3 – Análise dos compostos bioativos

Teor de Fenólicos Totais (TPC)

Os resultados obtidos para as análises dos teores de fenólicos totais presentes na polpa de camu-camu após as desidratações e *in natura*, em relação à concentração de maltodextrina, estão expostos na Figura 4.5 a seguir.

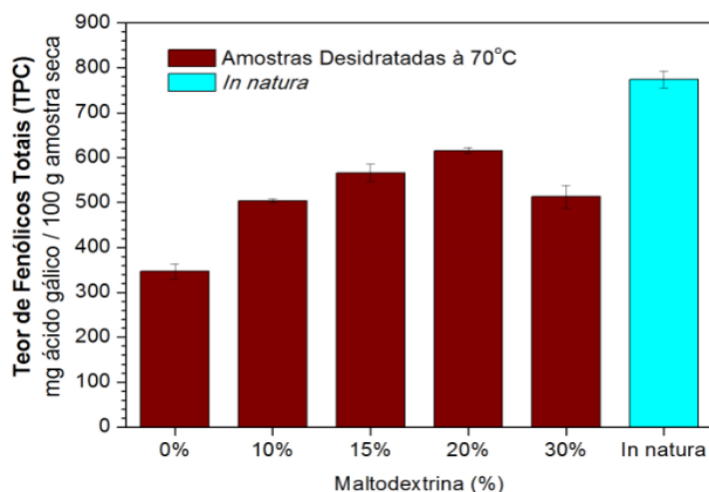


Figura 4.5 – Teor de fenólicos após a desidratação com diferentes concentrações de maltodextrina

Analisando o gráfico, notou-se primeiramente que a adição de maltodextrina na secagem da polpa impactou positivamente nos teores de fenólicos, visto que esses foram maiores em relação ao experimento sem o uso do agente carreador. Krishnaiah et al. (2012) e Ramírez et al. (2015) também verificaram que a maltodextrina favorece a retenção dos compostos fenólicos em processos de desidratação de frutas. Ao observar o efeito do aumento da concentração de maltodextrina, verificou-se que no experimento com concentração intermediária (15%) os teores de fenólicos foram menos impactados.

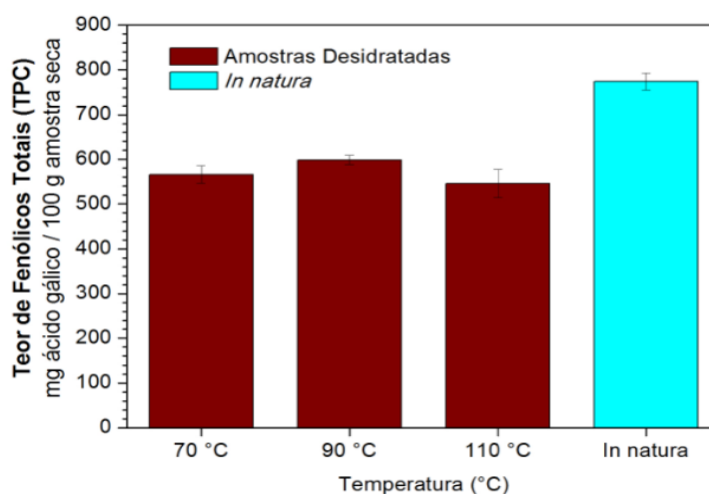


Figura 4.6 – Teor de fenólicos após a desidratação em diferentes temperaturas

A partir da Figura 4.6 notou-se que a temperatura apresentou impacto no teor de fenólicos, sendo que os valores obtidos foram menores do que os observados na polpa *in natura*, em todas as temperaturas. Apesar disso, verificou-se que o TPC se reduz até certo ponto onde ocorreu uma estabilização, não havendo impacto significativo nas diferentes temperaturas avaliadas. Os compostos fenólicos são altamente sensíveis a fatores como luz, pH, temperatura entre outros, o que justifica o decréscimo do teor quando exposto à altas temperaturas mas que provavelmente foi minimizado pela presença da maltodextrina (MERCALI et al., 2013).

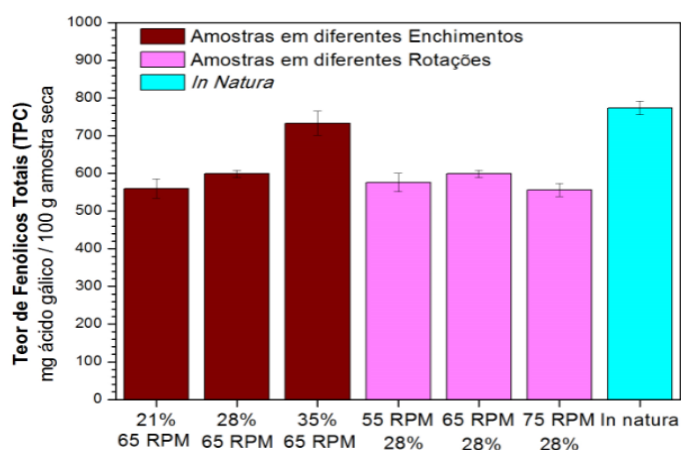


Figura 4.7 – Teor de fenólicos após a secagem em diferentes enchimentos e rotações

A Figura 4.7 apresenta os teores de fenólicos totais submetidos à variações de rotação e enchimento. Notou-se que quando houve um incremento no fator de enchimento os teores de fenólicos foram mais elevados, se aproximando do valor obtido para o material *in natura*. Já para variações nas velocidades de rotação, os teores de fenólicos se mantiveram praticamente constantes.

Teor de Flavonoides Totais (TFC)

Os resultados obtidos para as análises dos teores de flavonoides totais presentes na polpa de camu-camu após as desidratações e *in natura*, em relação à concentração de maltodextrina, estão expostos na Figura 4.8 a seguir.

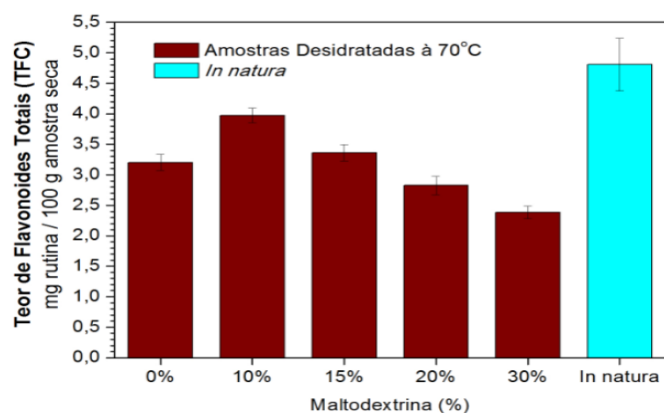


Figura 4.8 – Teor de flavonoides após a desidratação com diferentes concentrações de maltodextrina

Ao observar o gráfico, verificou-se que a adição de maltodextrina na secagem da polpa também impactou positivamente nos teores de flavonoides, mas praticamente na em concentração intermediária (10%). Ao observar o efeito do aumento da concentração verificou-se que foi mais favorável adicionar menores teores do agente carreador para favorecer maiores concentrações de flavonoides, pois em concentrações mais altas (30%) os valores chegam a ser menores do que o encontrado para o experimento sem maltodextrina.

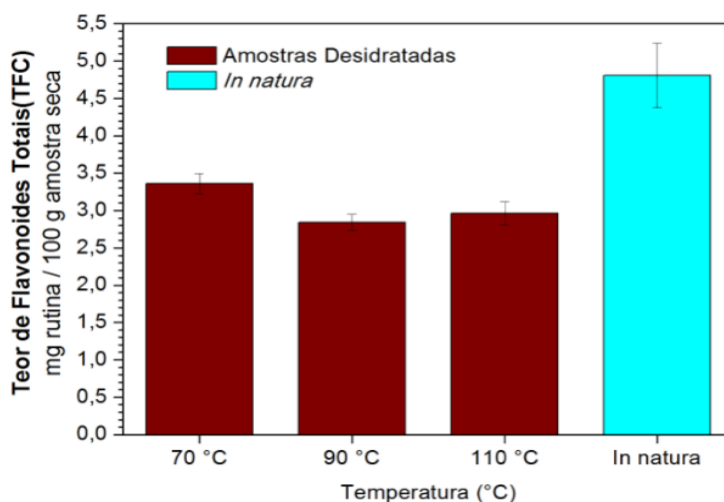


Figura 4.9 – Teor de flavonoides após a desidratação em diferentes temperaturas

A partir da Figura 4.9 notou-se que a temperatura também impactou significativamente no teor de flavonoides, sendo que, em todas as temperaturas, os valores obtidos foram menores do que o da polpa *in natura*. Observou-se que em temperaturas mais baixas (70°C) os flavonoides foram menos impactados dos que nas temperaturas de 90°C e 110°C.

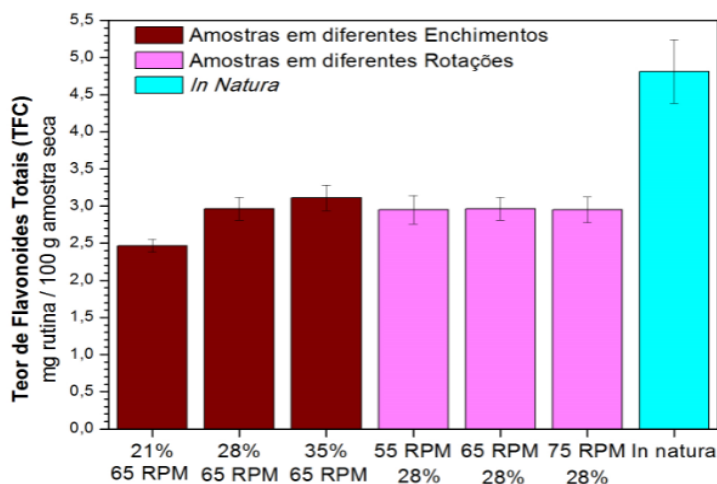


Figura 4.10 – Teor de flavonoides após a secagem em diferentes enchimentos e rotações

A Figura 4.10 apresenta os teores de flavonoides totais submetidos à variações de rotação e enchimento. Verificou-se que quando houve um incremento no fator de enchimento os teores de flavonoides foram ligeiramente favorecidos pelo processo, se mantendo praticamente constantes para enchimentos de 28% e 35%. Já quando avaliou-se o efeito de diferentes velocidades da rotação, verificou-se que o TFC das amostras se manteve praticamente constante, independente dos valores adotados.

Acidez (TA)

Os dados encontrados para as análises dos teores de acidez presentes na polpa de camu-camu após as desidratações e *in natura*, em relação à concentração de maltodextrina, estão expostos na Figura 4.11 a seguir.

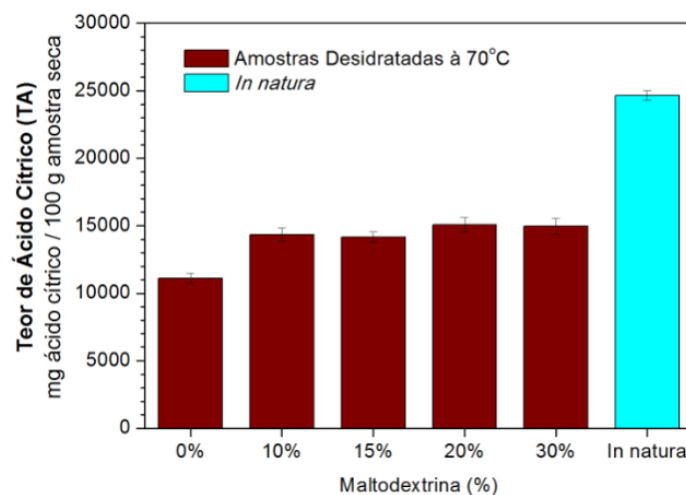


Figura 4.11 – Teor de ácido cítrico após a desidratação com diferentes concentrações de maltodextrina

Verificou-se que a adição de maltodextrina na secagem da polpa também impactou positivamente nos teores de acidez, em todas as condições analisadas, permitindo obter valores mais elevados de ácido cítrico que no experimento realizado sem o agente carreador. As diferentes concentrações de maltodextrina não impactaram o TA obtido, por sua vez.

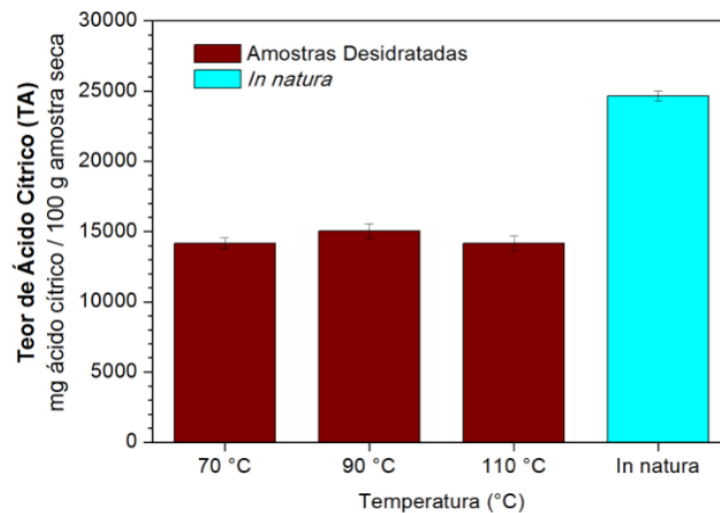


Figura 4.12 – Teor de ácido cítrico após a desidratação em diferentes temperaturas

A partir da análise da Figura 4.12 nota-se que a temperatura também impactou significativamente no teor de acidez, sendo que em todas as condições, os valores obtidos foram menores do que o da polpa *in natura*., indicando degradação. Contudo, o impacto do incremento da temperatura não foi observado como para os fenólicos e flavonoides, sendo que os valores das concentrações de ácido cítrico foram praticamente os mesmos em todas as temperaturas. A degradação desse composto também foi relatada por PODSEDEK (2007) que descreveu que o ácido cítrico possui baixa estabilidade durante processos térmicos, exibindo degradação em operações com altas temperaturas.

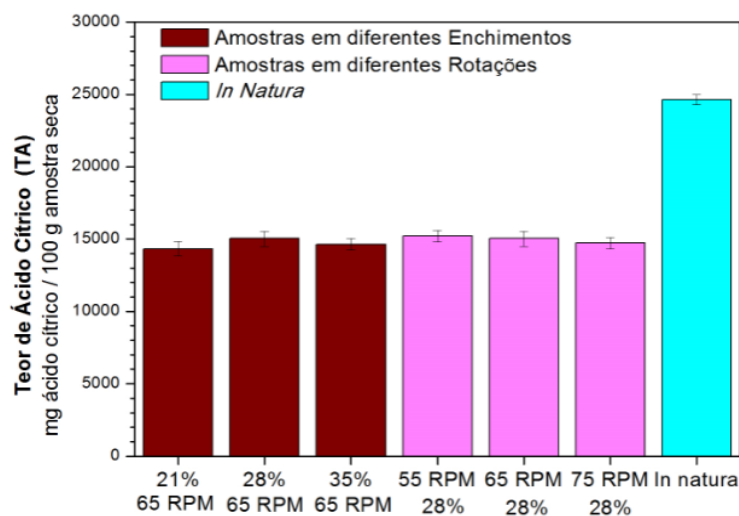


Figura 4.13 – Teor de ácido cítrico após a secagem em diferentes enchimentos e rotações

Na Figura 4.13 são apresentados os teores de ácido cítrico submetidos à variações de rotação e enchimento. Observou-se que valores obtidos para todos os experimentos são praticamente constantes, independente da condição experimental avaliada, demonstrando que esse composto não foi impactado nem pelo incremento no enchimento nem para rotação.

Teor de Ácido Ascórbico (AA)

Os resultados encontrados para as análises do teor de ácido ascórbico presentes na polpa de camu-camu após as desidratações e *in natura*, em relação à concentração de maltodextrina, estão expostos na Figura 4.14 a seguir.

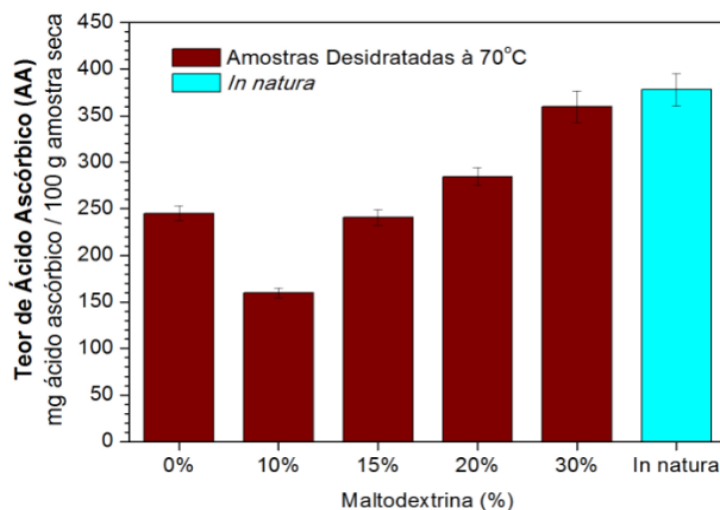


Figura 4.14 – Teor de ácido ascórbico após a desidratação com diferentes concentrações de maltodextrina

Notou-se, a partir do gráfico, que os teores de vitamina C foram impactados positivamente por concentrações acima de 20% de maltodextrina. Ao observar o efeito do aumento da concentração verificou-se que foi mais favorável adicionar maiores teores do agente carreador para favorecer maiores concentrações de ácido ascórbico, pois em concentrações mais baixas (10%) os valores chegam a ser menores do que o encontrado para o experimento sem maltodextrina. Já para a concentração de 30% o teor desse composto se aproximou do encontrado para o *in natura*. Tal comportamento fê fundamentado no fato de que a maltodextrina tem a função de proteger contra a oxidação, e isso se deve à sua capacidade formadora de filmes e propriedades plásticas (IGUAL et al. 2014).

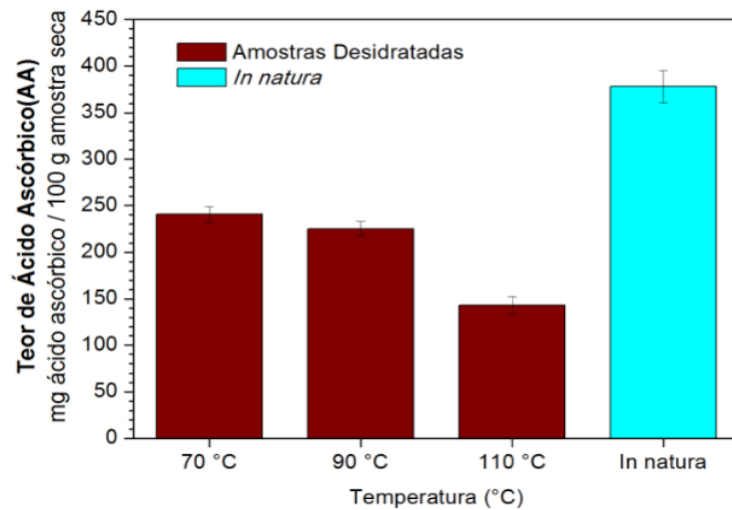


Figura 4.15 – Teor de ácido ascórbico após a desidratação em diferentes temperaturas

Na Figura 4.15 são apresentados os efeitos de diferentes temperaturas nos teores de ácido ascórbico. Observou-se uma termossensibilidade considerável da vitamina C, como relatado na literatura. Na temperatura de 70°C foram observados os maiores teores desse bioativo, ainda que tenham valores menores que a polpa *in natura*. Na temperatura de 110°C verificou-se alta degradação do composto, o qual se reduziu à menos da metade do valor da polpa *in natura*.

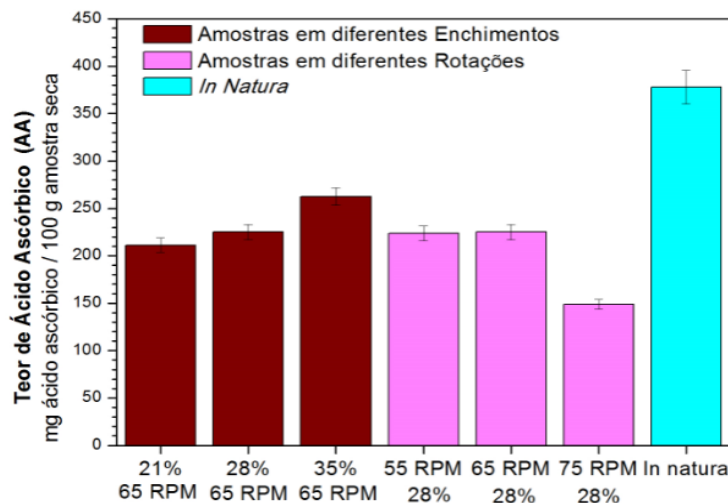


Figura 4.16 – Teor de ácido ascórbico após a secagem em diferentes enchimentos e rotações

A Figura 4.16 expõe os teores de ácido ascórbico submetidos à variações de rotação e enchimento. Notou-se um comportamento semelhante aos dos compostos fenólicos e flavonoides, em que os teores são afetados positivamente pelo aumento do fator de enchimento.

Avaliando o efeito de diferentes rotações, observou-se que na rotação de 75 RPM o impacto foi negativo, sendo os melhores resultados observados para rotações de 55 e 65 RPM, que não apresentaram diferença entre si.

Capítulo 5

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho confirmam o potencial nutricional do camu-camu, que foi notado logo na análise do material *in natura* com altos teores de compostos bioativos presentes. Contudo, devido ao elevado teor de umidade presente na polpa, a operação de desidratação se mostra necessária para a conservação deste material fazendo com que a umidade final e atividade de água se tornem fatores muito importantes para se avaliar a eficácia do método. Em todos os experimentos realizados obteve-se excelentes resultados nesse quesito, com atividades de água menores que 0,4 e umidades inferiores à 10%.

Como todos os experimentos atingiram ótimos valores de remoção de umidade, o rendimento de produto final se torna um fator de extrema importância para análise, a fim de avaliar a eficiência do secador rotatório com recheio de inertes. Um problema que ocorreu neste processo foi a aderência do pó às paredes internas e estruturas do secador. Então, fez-se necessário o uso da maltodextrina como agente carreador para reduzir a pegajosidade do material e aumentar o rendimento da secagem. Analisando diferentes concentrações de maltodextrina, e variáveis como temperatura, fator de enchimento e rotação o melhor rendimento obtido foi no experimento 6, realizado a temperatura de 90°C, fator de enchimento de 28%, rotação de 65 RPM e concentração de maltodextrina de 15%.

Em relação aos compostos bioativos, pode-se afirmar que a técnica causou certo impacto nos teores tendo seus valores mantidos próximos ou abaixo dos da polpa *in natura* sob condições específicas. Apesar disso, ressaltar-se que em determinadas condições a maltodextrina atuou como um “protetor térmico” desses compostos, tendo sido observado o aumento dos teores após a adição da mesma. O único bioativo que se mostrou sensível ao aumento da temperatura foi o ácido ascórbico, cuja termossensibilidade já havia sido relatada. Em relação a variação do fator de enchimento e rotação conclui-se que é melhor utilizar valores intermediários dos mesmos, pois afetam cada bioativo de forma diferente.

Assim, a secagem do camu-camu no secador rotatório com recheio de inertes se mostrou eficiente, principalmente quando adiciona-se o agente carreador maltodextrina ao processo. A produção desse material diretamente em pó e com teores satisfatórios de bioativos permite um potencial aproveitamento do mesmo para diversas indústrias, o que incentiva o estudo e aprimoramento dessa técnica para esse fruto tão pouco explorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILERA, J.M.; STANLEY, D.W. Microstructural Principles of Food Processing and Engineering (second ed.), *Aspen Publishers Inc.*, Gaithersburg, MD, 1999.
- AJAYI, O.O.; SHEEHAN, M.E. Application of image analysis to determine design loading in flighted rotary dryers. *Powder Technology*, v. 223, p. 123-130, 2012.
- ALBERTINO, A.; BARGE, A.; CRAVOTTO, G.; GENZINI, L.; GOBETTO, R.; VINCENTI, M. Natural origin of ascorbic acid: Validation by ¹³C NMR and IRMS. *Food Chemistry*, Barking, v.112, n.33, p. 715-720, 2009.
- ALARCÓN-FLORES, M. I.; ROMERO-GONZÁLEZ, R.; VIDAL, J. L. M.; FRENICH, A. G. Multiclass determination of phytochemicals in vegetables and fruits by ultra high performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Food Chemistry*, v. 141, p. 1120-1129, 2013.
- ANGEL, R. M. C.; MUNOZ, L. C. E.; AVILES-AVILES, C.; GARCÍA, R.G.; SANTILLÁN, M.M.; LAGUNES, A. G.; ARCHILA, M. A. Spray-drying of passion fruit juice using lactose maltodextrina blends as the support material. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba-PR, v. 52, n. 4, p. 1011-1018, 2009.
- ANVISA. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). D.O.U - Resolução nº12 de 24 de julho de 1978. Aprova normas técnicas especiais, do estado de São Paulo, revisadas pela CNNPA, relativas a alimentos (e bebidas) para efeito em todo território brasileiro.
- AOAC, Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, 1995.
- APELBLAT, A. Citric Acid. 1ed. Israel, Springer. 357p, 2014.
- ARÉVALO, R. P. *Estudo da estabilização da polpa de camu-camu (Myrciaria dubia (H.B.K) Mc Vaugh) congelada visando à manutenção de ácido ascórbico e de antocianinas*. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 155 p., 2007.
- ARÉVALO, R. P. *Manutenção dos atributos de qualidade do camu-camu (Myrciaria dubia (H.B.K.) Mc Vaugh) desidratado, durante armazenamento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 115p., 2002.

- BARONI, A. F. *Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem*. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 226 p., 2004.
- BELING, R. R. Anuário Brasileiro de Fruticultura. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz. *Biotechnology Progress*, v. 2(3), p. 109-119, 2005.
- BEST, D. New perspectives on water's role in formulation. *Prepared Foods*, v.161, n. 9, p.59-66, 1992.
- BENDICH, A.; LANGSETH, L. The health effects of vitamin C supplementation, a review. *Journal American College Nutrition*, v.14, p.124-136, 1995.
- BERNARDES N. R.; PESSANHA F. F.; OLIVEIRA D. B. Alimentos Funcionais: Uma breve revisão. *Ciência e Cultura. Revista Científica Multidisciplinar do Centro Universitário da FEB*, 6(2). 2010.
- BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems Associated with Spray Drying of Sugar-Rich Foods. *Drying Technology*, p. 671-684, 1997.
- BHANDARI, B. R.; ADHIKARI, B. Water activity in food processing and preservation *Drying Technologies in Food Processing*, Edited by Chen, X. D., Mujumdar, A. S. John Wiley & Sons Ltd., 2007.
- BORTOLOTTI, C. T., *Estudo Experimental da Fluidodinâmica de Mistura de Resíduo de Acerola e Soja em Leito de Jorro*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2012.
- BRAGANÇA, E. Maltodextrinas da mandioca –estrelas do mundo esportivo. Associação Brasileira dos Produtores de Mandioca, ano 3, n.11, 2005.
- BURJAILI, M. M. *Desenvolvimento de um secador rotatório com recheio de inerte*. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.
- CAMARGO, R. Tecnologia de produtos agropecuários. Nobel, São Paulo: 310p. 1984
- CAMERE-COLAROSSO, R.; ULLOA-URIZAR, G.; MEDINA-FLORES, D.; CABALLERO-GARCÍA, S.; MAYTA-TOVALINO, F.; VALLE-MENDOZA, J. D. Antibacterial activity of *Myrciaria dubia* (Camu-camu) against *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sanguinis*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, v. 6, n. 9, p. 740-744, 2016.

- CARVALHO, A. V.; LIMA, L. C. O. Qualidade de kiwis minimamente processados e submetidos a tratamento com ácido ascórbico, ácido cítrico e cloreto de cálcio, *Pesq. Agrop. Bras.* v. 37, p. 679–685, 2002.
- CARVALHO, J. E. U. Frutas da Amazônia na era das novas culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS, Belém, PA. Anais... Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos, 2012
- CELESTINO, S.M.C. Princípios de Secagem de Alimentos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 51p, 2010.
- CEREDA, M. P.; VILPOUX, O., Tecnologia, uso e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas, Série: Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas, Vol 3, 2003.
- CHIRINOS, R.; GALARZA, J.; BETALLELUZ-PALLARDEL, I.; PEDRESCHI, R.; CAMPOS, D. Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) fruit at different maturity stages. *Food chemistry*, v. 120, p. 1019–1024, 2010.
- CHRONAKIS, I.S. On the molecular characteristics, compositional properties, and structural-functional mechanisms of maltodextrins: A Review. *Critical Reviews in Food Science*, v. 38, n. 7, p. 599-637, 1998.
- COSTA, A. G. V.; GARCIA-DIAZ, D. F.; JIMENEZ, P.; SILVA, P. I. Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red–black berries. *Journal of Functional Foods*, v. 5, p. 539-549, 2013.
- COULSON, J. M.; RICHARDSON, J. F.; BACKHURST, J. R.; HARKER, J. H. Chemical Engineering: Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer; Butterworth-Heinemann Ltd.: Oxford, United Kingdom; v. 1, p 204., 1999.
- COUTINHO, A.P.C. *Produção e caracterização de maltodextrinas a partir de amidos de mandioca e batata-doce*. Dissertação - (Mestrado /Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP. 137 p., 2007.
- CUNHA, E. C. E., *Avaliação e caracterização dos compostos bioativos do camu-camu (Myrciaria dubia (H.B.K) Mc Vaugh)*. – Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP : [s.n.], 128 p., 2018.
- DE SOUZA SCHMIDT GONÇALVES, A. E.; LELLIS-SANTOS, C.; CURI, R.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Frozen pulp extracts of camu-camu (*Myrciaria dubia* McVaugh)

- attenuate the hyperlipidemia and lipid peroxidation of Type 1 diabetic rats. *Food Research International*, n. 64, p.1-8, 2014.
- DHILLON, G.S.; BRAR, S.K.; VERMA, M.; TYAGI, R.D. Recent advances in citric acid bio-production and recovery. *Food Bioprocess Technol*, v.4, p.505-529, 2011.
- DIB TAXI, C.A. *Suco de camu-camu (Myrciaria dúbia) microencapsulado obtido através de secagem por atomização*. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas, 2001, 172 p.
- DING, Y. L.; SEVILLE, J.P.K.; FORSTER, R.; PARKER, D. J. Solids motion in rolling mode rotating drums operated at low to medium rotational speeds. *Chemical Engineering Science*, v. 56, n. 7, p. 1769–1780, 2001.
- FAZAEI M.; EMAM-DJOMEH Z.; KALBASI ASHTARI A.; OMID M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder, *Food Bioprod. Process*, v.4, p. 667–675, 2012.
- FLAMBÓ, D. F. A. L. P. *Atividades biológicas dos flavonoides: atividade antimicrobiana*. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas), Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2013.
- FORNY, L.; MARABI, A.; PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. *Powder Technology* (206), 72-78, 2012.
- FRACASSETTI, D.; COSTA, C.; MOULAY, L.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A. Ellagic acid derivatives, ellagitannins, proanthocyanidins and other phenolics, vitamin C and antioxidant capacity of 16 two powder products from camu-camu fruit (*Myrciaria dubia*). *Food Chemistry*, v. 139, p. 578–588, 2013.
- FREITAS, L.V.D. *Estudo sobre a desidratação de microalgas em secador rotatório*. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2017.
- FUJITA, A.; BORGES, K.; CORREIA, R.; FRANCO, B.; GENOVESE, M. Impact of spouted bed drying on bioactive compounds, antimicrobial and antioxidant activities of commercial frozen pulp of camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh). *Food Research International*, v. 54, p. 495-500, 2013.
- GENKINGER J. M.; PLATZ E.A.; HOFFMAN S. C.; COMSTOCK G.W., HELZSOUER K.J. Fruit, vegetable, and antioxidant intake and all-cause, cancer, and cardiovascular disease

- mortality in a community-dwelling population in Washington County, Maryland. *American Journal of Epidemiology*, v. 12, p. 1223-33, 2004.
- GENOVESE, M. I.; PINTO, M. S.; GONÇALVES A. E. S; LAJOLO, F. M. Bioactive compounds and antioxidant capacity of exotic fruits and commercial frozen pulps from Brazil. *Food Science and Technology International*, v. 14, p. 201-208, 2008.
- GOFF, H.D. Low-temperature stability and the glassy state in frozenfoods. *Food Research Int.*, v. 25, p.317-325, 1992.
- GONÇALVES, A. E. S. S.; LELLIS, C. S.; CURI, R.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Frozen pulp extracts of camu-camu (*Myrciaria dubia* McVaugh) attenuate the hyperlipidemia and lipid peroxidation of Type 1 diabetic rats. *Food Research International*, n. 64, p.1-8, 2014.
- GOULA, A. M. & ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 11. p. 342–351, 2009.
- GRIGIO, M. L.; DURIGAN, M. F. B.; CHAGAS, E. A.; CHAGAS, P. C.; NASCIMENTO, C. R.; ALMEIDA, M. S. Post-harvest conservation of camu–camu fruits (*Myrciaria dubia* (Kunth) *Mc Vaugh*) using different temperatures and packages. *Food Science and Technology*, v. 35, n. 4, p. 652-658, 2015.
- HANCOCK, R. D.; VIOLA, R. Biotechnological approaches for L-ascorbic acid production. *Trends in Biotechnology*, v. 20, n. 7, 2002.
- HONORATO, G.C. *Concepção de um secador rotatório para secagem do cefalotórax do camarão*. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.
- IBRAF. Instituto Brasileiro de Frutas. O Sistema Agroalimentar de Frutas e Derivados. Disponível em: < <http://www.ibraf.org.br/detalhe.aspx?id=1> > Acesso em: 19 de outubro de 2018.
- IBRAF – Instituto Brasileiro de Frutas. Panorama da Cadeia Produtiva das Frutas 2012 e Projeções para 2013. Setembro/2013.
- IGUAL, M.; RAMIRES, S.; MOSQUERA, L. H.; MARTINEZ-NAVARRETE, N. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, v. 256, p. 233 – 238, 2014

- ISHIMOTO, E. Y.; FERRARI, C. K. B.; BASTOS, D. H. M.; TORRES, E. A. F. S. In vitro antioxidant activity of Brazilian wines and grapes juices. *Journal of Wine Research*, v. 17, p. 107-115, 2006.
- JANGAM, S. V.; LAW, C. L.; MUJUMDAR, A. S. *Drying of Foods, Vegetables and Fruits* – Ed. Singapura, v. 1, 2010.
- KALEEMULLAH, S.; KAILAPPAN, T. Drying Kinetics of Red Chillies in a Rotary Dryer. *Biosystems Engineering*, v. 92, p. 15-23, 2005.
- KHALLOUFI, S.; EL MASLOHI, Y.; RATTI, C. Mathematical model for prediction of glass transition temperature of fruit powders. *Journal of Food Science*, v. 65, n. 5, p. 842-848, 2000.
- KIM, D. J.; SHIN, D. H.; AHN, B.; KANG, J. S.; NAM, K. T.; PARK, C. B.; KIM, C. K.; KIM, Y. B.; TUN, Y. W.; JANG, D. D.; YANG, K. H. Chemoprevention of colon cancer by Korean food plant components. *Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, v. 523-524, p. 99-107, 2003.
- KRISHNAIAH, D.; SARBATLY, R.; NITHYANANDAM, R. Microencapsulation of Morinda citrifolia L. extract by spray-drying, *Chemical Engineering Research and Design*, v.90, p. 622 – 632, 2012.
- KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B.; KREMALIS, C. Process design of rotary dryers for olive cake. *Drying Technology*, v. 20, n. 4–5, p. 771–788, 2002.
- LABUZA, T. J.; LABUZA, P. S.; KRUSCH, L. Storage stability of dry food systems: influence of state changes during drying and storage. In: *International Drying Symposium IDS'2004*, 14th, 2004, São Paulo, Brazil. Proceedings. São Paulo: Ourograf Gráfica e Editora, 2004. v. A, p.48-68.
- LIMAVERDE JR, J. R. *Secador Rotatório com Recheio de Inertes Aplicado a Secagem de Materiais Pastosos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG, 78 p., 2000.
- LISBOA, M. H. Estudo de Secadores Rotatórios na Secagem de Fertilizantes. Dissertação de Mestrado, UFU, Uberlândia/MG, 100 p., 2005
- LEE A. Modelling the solids transport phenomena within flighted rotary dryers. 284 p. PhD thesis, James Cook University, 284 p., 2008.
- MABAMDA, P.S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, v.29, p. 75-97, 2007.

- MACHADO, M.V.C., *Estudo Experimental e Numérico da Dinâmica de Corpos Moedores em Moinhos de Bola*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFU, 99 p., 2016.
- MARIUTTI, L. B.; RODRIGUES, E.; CHISTÉ R. C.; FERNANDES E, MERCADANTE A. Z. The Amazonian fruit *Byrsonima crassifolia* effectively scavenges reactive oxygen and nitrogen species and protects human erythrocytes against oxidative damage. *Food Research International*, v. 64, p. 618-625, 2014.
- MARTÍNEZ-VALVERDE, I.; PERIAGO, M. J.; ROS, G. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, v. 50 (1), p. 5–18, 2000.
- MELO, P. C. *Cinética de secagem e armazenamento de spirulina platensis*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Engenharia de Sistemas Agroindustriais, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2016.
- MERCALI, G. D.; JAESCHKE, D. P.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Degradation kinetics of anthocyanins in acerola pulp: Comparison between ohmic and conventional heat treatment. *Food Chemistry*, v. 136, p. 853 – 857, 2013
- MEZA, J.; GIL, A.; CORTÉS, C.; GONZÁLEZ, A. Drying costs of woody biomass in a semi-industrial experimental rotary dryer. in: *16th European Conference and Exhibition on Biomass for Energy*, Biomass Resources, 2008.
- MISHRA, P.; BRAHMA, A.; SETH, D. Physicochemical, functionality and storage stability of hog plum (*Spondia pinnata*) juice powder produced by spray drying. *Journal Food Science Technology*, v.54, p. 1052-1061, 2017.
- MORAES-DE-SOUZA, R. A. *Qualidade de polpa de camu-camu [Myrciaria dubia (H.B.K.) Mc Vaugh], submetida aos processos de congelamento, pasteurização, alta pressão hidrostática e liofilização e armazenada por 4 meses*. Tese (Doutorado em Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 114 p., 2011.
- MOTILVA, M. J.; SERRA, A.; MARCIÀ, A. Analysis of Food polyphenols by ultra high performance liquid chromatography coupled to mass spectrometry: an overview. *Journal of Chromatography*, p. 66-82, 2013.
- MOURA, B. D. *Automação de um sistema rotatório para secagem do rejeito de maracujá*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). UFRN, Natal, 2009.

- MOURA, B. D. *Estudo da Dinâmica de Secagem em um Secador Rotatório com Alimentação Intermitente*. Tese (Doutorado em Engenharia Química). UFRN, Natal, 2016.
- NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food: a review. *Journal of Chromatography*, v. 1054, p. 95–111, 2004.
- NASCIMENTO, S.M. *Estudo Da Dinâmica De Partículas Em Tambor Rotatório Com Suspensores: Análise Experimental E Numérica Utilizando Abordagens Euleriana E Lagrangeana*. Tese (Doutorando em Engenharia Química) UFU, Uberlândia-MG, 2018.
- NASCIMENTO, W. M. O.; CARVALHO, J. E. U. A cultura do camu-camu. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)*, Coleção Plantar, v. 71, 81 p., Brasília-DF, 2012.
- NASCIMENTO, W. M. O.; GUTGEL, F. L.; BHERING, L. L., RIBEIRO, O. D.; SOARES, A. C. S. Avaliações preliminares de parâmetros genéticos de acessos de *Myrciaria dubia* por marcadores fenotípicos. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento*, n. 87, 27 p., 2013.
- NEVES, L. C.; SILVA V, X.; CHAGAS, A. E.; BACELAR-LIMA, C. G.; ROBERTO, S. R. Determining harvest time of camu-camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. McVaugh) using measuring pre-harvest attributes. *Scientia Horticulturae*, v. 186, p. 15-23, 2015.
- NICKLETT E. J.; KADELL A. R. Fruit and vegetable intake among older adults: a scoping review. *Maturitas*, 75(4): 305-312, 2013.
- OLIVEIRA, D., P. AQUINO, S. RIBEIRO, R. PROENÇA; H. M. SANT'ANA. 2011. Vitamina C, carotenoides, fenólicos totais e actividade antioxidante de goiaba, manga e mamão procedentes da Ceasa do Estado de Minas Gerais. *Health Sciences*. 33:89-98.
- OLIVEIRA, J. *Estudo da viabilidade de embalagens e temperaturas de armazenamento na qualidade pós-colheita de camu-camu [Myrciaria dubia (H.B.K.) Mc Vaugh]*. 2013. 134p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Ciências, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- PADILLA, R. Y. C.; LIMAVERDE, J. R.; FINZER, J. R. D. Drying of banana paste in rotary dryer with inert bed. In: *International Drying Symposium: Drying 2004*, 14, 2004, São Paulo. Proceedings of... São Paulo-SP, 2004.
- PALLAI, E.; SZENTMARJAV, T.; MUJUMDAR, A. S. Spouted Bed Drying. *Handbook of Industrial Drying*, Cap 14, p. 363-385, 3a Edição, CRC Press – Taylor & Francis Group, Boca Raton-EUA, 2007.

- PELEGRINA, A. H.; ELUSTONDO, M. P.; URBICAIN, M. J. Rotary semi-continuous drier for vegetables: effect of air recycling. *Journal of Food Engineering*, v. 41, n. 3–4, p. 215–219, 1999.
- PELZER, L. E.; GUARDIA, T.; JUAREZ, O. A.; GUERREIRO, E. Acute and chronic anti-inflammatory effects of plant flavonoids, *Farmaco*, v. 53, p.421-424, 1998.
- PENNISTON, K.L.; NAKADA, S.Y.; HOLMES, R.P.; ASSIMOS, D.G. Quantitative assessment of citric acid in lemon juice, lime juice, and commercially available fruit juice products. *J. Endourol*, v. 22, p. 567–570, 2008.
- PERAZZINI, H. *Secagem de Resíduos Cítricos em Secador Rotativo*, 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2011.
- PERRY, R.H.; GREEN, D.W.; Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7th ed., Mc-Graw-Hill, New York, 1997.
- PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal*, v.19, p. 1297 – 1306, 2012.
- PETERSON, J.; DWYER, J. Flavonoids: dietary occurrence and biochemical activity. *Nutrition Research* v.18, p.1995-2018, 1998.
- PIETTA, P. G. Flavonoids as antioxidants, *Journal of Natural Products*, v. 63, p.1035-1042, 2000.
- PINTO, P. M.; JACOMINO, A. P.; SILVA, S. R.; ANDRADE, C. A. W. Ponto de colheita e maturação de frutos de camu-camu colhidos em diferentes estádios. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, n. 6, p. 605-612, 2013.
- PODSEDEK, A. Natural Antioxidants and Antioxidant Capacity of Brassica Vegetables: A review. *LWT - Journal of Food Composition and Analysis*, v. 40, p.1-11, 2007.
- PUADIAN, N. LI, J. PANG, S. Analysis of Operation Parameters in a Dual Fluidized Bed Biomass Gasifier Integrated with a Biomass Rotary Dryer: Development and Application of a System Model. *Energies* 7(7), p. 4342-4363, 2014.
- RAMÍREZ, M. J.; GIRALDO, G.I.; ORROGO, C.E. Modeling and stability of polyphenol in spray-dried and freeze-dried fruit encapsulates. *Powder Technology*, v. 277, p. 89-96, 2015.
- RAHMAN, S. (2008). *Food Properties Handbook*. CRC Press.

- RAHMAN, M. M.; JOARDDER, M. U. H.; KHAN, M. I. H.; PHAM, N. D.; KARIM, M. A. Multi-scale model of food drying: Current status and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 58 (5), p. 858-876, 2018.
- RATMAN D, ANKOLA D, BHARDWANJ V, SAHANA D, KUMAR M. Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Journal of Controlled Release*, 113(2):189-207, 2006.
- RIBEIRO, P. F. A.; STRINGHETA, P. C.; OLIVEIRA, E. B.; MENDONÇA, A. C.; SANT'ANA, H. M. P. Levels of vitamin C, β -carotene and minerals in camu-camu cultivated in different environments. *Ciência Rural*, v. 46, n. 3, p. 567-572, 2016.
- RODRIGUES, M. *Utilização de maltodextrina e prebiótico em rações de leitões desmamados 2012*. 50 f. Dissertação (Mestrado) -Curso de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.
- RODRIGUES, R. B.; MENEZES, H. C.; CABRAL, L. M. C.; DORNIER, M., RIOS, G. M.; REYNES, M. Evaluation of reverse osmosis and osmotic evaporation to concentrate camu-camu juice (*Myrciaria dubia*). *Journal of Food Engineering*, v. 63, p. 97–102, 2004.
- ROOS, Y.; KAREL, M. Plasticizing effect of water on thermal behavior and crystallization of amorphous food models. *Journal of Food Science*, v. 56, n. 1, p. 38-43. 1991c.
- ROOS, Y. Characterization of food polymers using state diagrams. *J.Food Eng.*, 24(3):339-360, 1995a.
- ROOS, Y. H. Phase transitions in foods. San Diego, California: Academic Press. 1995.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉERE-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, v. 121, p. 996–1002, 2010.
- FAO. FAO Statistical yearbook 2015. Rome: FAO, 2015. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>. Acesso em: 26/11/2018.
- SANTOS, K. O.; NETO, B. A. M.; OLIVEIRA, S.; RAMOS, M. E. C.; AZEVEDO, L. C. Obtenção de farinha com o resíduo de acerola (*Malpighia Glabra L.*). Em: *Congresso de pesquisa e Inovação da rede Norte-Nordeste de Educação Tecnológica*, 2010.
- SILVA, M. A., SOBRAL, P. J. A., & KIECKBUSCH, T. G. State diagrams of freeze-dried camu–camu (*Myrciaria Dubia (H.B.K) Mc Vaugh*) pulp with and without maltodextrin addition. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 426–432, 2006.

- SILVA, N.C. *Desidratação de resíduos do processamento de maracujá-amarelo por diferentes metodologias*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 163p., 2015.
- SILVA, N. K., CORNEJO F.E.P., GOMES F.S., PONTES, S.M., MATTA, V.M. AND FREITAS, S.P. Influence of shell material on vitamin C content, total phenolic compounds, sorption isotherms and particle size of spray-dried camu-camu juice. *Fruits* 2013, 68, 175-183
- SILVA, P. B. *Secagem de Resíduos de Frutas em Secador Roto-Aerado*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2014.
- SILVA, P. B., DUARTE, C. R. BARROZO, M. A. S. Dehydration of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue in a new designed rotary dryer: Effect of process variables on main bioactive compounds. *Food and Bioprocess Processing*, 98, 62–70, 2016.
- SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolibdic_phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, v.16, p.144-158, 1965.
- SLADE, L.; LEVINE, H. Beyond water activity: Recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 30,115-360, 1991.
- SONG, Y.; THIBAUT, J.; KUDRA, T. Dynamic characteristics of solids transportation in rotary dryers. *Drying Technology*, v. 21, n. 5, p. 755–773, 2003.
- SPÍNOLA, V.; LLORENT-MARTÍNEZ, E. J.; CASTILHO, P. C. Determination of vitamin C in foods: Current state of method validation. *Journal of Chromatography A*, v. 1369, n. 2-17, 2014.
- VIDIGAL, M. C. T. R., MINIM, V. P. R., CARVALHO, N. B., MILAGRES, M. P., & GONCALVES, A. C. A. Effect of a health claim on consumer acceptance of exotic Brazilian fruit juices—Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), camu-camu (*Myrciaria dubia*), cajá (*Spondias lutea* L.) and umbu (*Spondias tuberosa* Arruda). *Food Research International*, v. 44, p.1988-1996, 2011.
- VILLANUEVA-TIBURCIO, J. E.; CONDEZO-HOYOS, L. A.; ASQUIERI, E. R. Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, em la cáscara de camu-camu. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* Campinas, 30 (Supl. 1): 151-160, maio, 2010.

- YILBAS, B. S.; HUSSAIN, M. M.; DINCER, I. Heat and moisture diffusion in slab products to convective boundary condition. *Heat and Mass Transfer*, v.39, p. 471-476, 2003.
- YUYAMA, K. A cultura do camu-camu no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. iii-iv, jun. 2011.
- YUYAMA, K.; VALENTE, J. P. (Org.). Camu-camu. Jaboticabal: Funep, 2010. 50 p. (Séries Frutas Nativas, 4)
- YUYAMA, T. S. *Secagem da polpa de camu-camu pelo método de spray dryer usando dextrinas como material de parede*. Trabalho de Conclusão de Curso. (Engenharia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.
- ZABANIOTOU, A.A. Simulation of forestry biomass drying in a rotary dryer, *Drying Technology: An International Journal*, 18:7, 1415-1431, 2000.
- ZANATTA, C.F.; MERCADANTE, A.Z. Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*)., *Food Chemistry* v.101, p.1526-1532, 2007.
- ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The Determination of Flavonoid Contents in Mulberry and their Scavenging Effects on Superoxide Radicals. *Food Chemistry*, v.64, p.555-559, 1999.
- ZOTARELLI, M. F. *Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2014.
- YOKAZAWA, T.; DONG, E.; LIU, Z.W.; SHIMIZU, M. Antioxidative activity of flavones and flavonols in vitro. *Phytotherapy Research* v.11, p.446-1997 446-449.