



**FÁBIA SABINO COSTA**

**SECAGEM DE SUCO DE ACEROLA VERDE  
CONCENTRADO EM SPRAY DRYER**

**LAVRAS - MG  
2023**

**FÁBIA SABINO COSTA**

**SECAGEM DE SUCO DE ACEROLA VERDE CONCENTRADO EM SPRAY  
DRYER**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa do Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa  
Orientador

Profa. Dra. Leticia Fernandes de Oliveira  
Coorientadora

**LAVRAS - MG**

**2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Costa, Fábila Sabino.

Secagem de Suco de Acerola Verde Concentrado em Spray  
Dryer / Fábila Sabino Costa. - 2023.  
55 p. : il.

Orientador(a): Jefferson Luiz Gomes Correa.

Coorientador(a): Letícia Fernandes de Oliveira.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Acerola Verde. 2. Secagem. 3. Spray Dryer. I. Correa,  
Jefferson Luiz Gomes. II. de Oliveira, Letícia Fernandes. III. Título.

**FÁBIA SABINO COSTA**

**SECAGEM DE SUCO DE ACEROLA VERDE CONCENTRADO EM SPRAY  
DRYER**

**SPRAY DRYING OF CONCENTRATED GREEN ACEROLA JUICE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa do Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA EM: 21 de agosto de 2023.  
Dr. João Renato de Jesus Junqueira UFMS  
Dra. Joyce Maria Gomes da Costa UFVJM

Prof. Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa  
Orientador

Profa. Dra. Letícia Fernandes de Oliveira  
Coorientadora

**LAVRAS - MG**

**2023**

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha mãe Francisca de Fátima e ao meu pai João Rodrigues (*in memoriam*), que mesmo em situações difíceis, sempre se esforçaram para me proporcionar oportunidades de estudo. Ao meu marido Gervásio Paulino pelo incentivo e apoio durante toda a jornada de estudos, me aconselhando e nos mantendo fortes na clareza dos nossos propósitos de vida. Ao meu filho Thiago, por ser meu incentivo diário para contribuir com um mundo melhor. Gostaria de agradecer sobretudo a Deus pelas bênçãos durante toda a caminhada do mestrado.

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) pelo incentivo à inovação e pelo fomento à integração de estudantes de vários estados, origens e classes sociais, trazendo diversidade à pesquisa brasileira. A Fazenda Amway Nutrilite do Brasil Ltda, empresa da qual fiz parte durante o desenvolvimento da minha pesquisa, e que é fonte de inspiração para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na cadeia de produção de alimentos.

Ao Professor Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa a Professora Dra. Letícia Fernandes de Oliveira pela orientação e paciência durante todo o tempo em que trabalhamos juntos.

A minha amiga Jhenifer Cristina pelo apoio, ajuda e aconselhamentos durante os momentos mais difíceis. Sua contribuição e experiência foram fundamentais.

E a banca avaliadora, Joyce Maria Gomes da Costa e João Renato de Jesus Junqueira por contribuírem para o aperfeiçoamento do trabalho desenvolvido.

## RESUMO

A acerola (*Malpighia glabra* e *M. emarginata*) é um fruto tropical amplamente cultivado no Brasil, principalmente na região nordeste, onde a alta luminosidade durante todo o ano favorece sua produção. É rica em compostos bioativos, como antocianinas, compostos fenólicos, flavonóides e ácido ascórbico. Há uma significativa diferença no perfil de nutrientes deste fruto dependendo da variedade, condições climáticas e região de cultivo. Devido a sua alta perecibilidade, se faz necessário a utilização de processos de conservação como a secagem por *Spray dryer*. Por ser um fruto de baixa acidez e rico em açúcares e substâncias de baixo peso molecular, apresenta diversos desafios na secagem. Podem ocorrer acentuadas perdas durante a atomização e dificuldade de manuseio do extrato seco. Assim, este estudo objetivou avaliar as condições de secagem do suco de acerola concentrado, obtido a partir da composição de acerolas verdes. Foi realizado um delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) que objetivou estudar os efeitos da temperatura ( $X_1$ ) e da concentração de maltodextrina ( $X_2$ ) em rendimento, teor de ácido ascórbico, compostos fenólicos, atividade de água, teor de água, higroscopicidade, solubilidade e cor. Ao analisar os resultados, foi possível observar que o ponto central do DCCR se apresentou como as melhores condições para obtenção de maior rendimento e retenção de ácido ascórbico, com temperatura de 145°C e 16,5% de maltodextrina. Analisou-se que o aumento da concentração de maltodextrina contribuiu para a redução do teor de água, que a solubilidade do pó obtido não foi afetada pelas variáveis do estudo, que a cor é afetada tanto pela concentração do carreador quanto pela temperatura e que a obtenção de pós menos higroscópicos é favorecida com aumento da concentração de maltodextrina e redução da temperatura.

**Palavras-chave:** Secagem. Ácido ascórbico. Acerola verde. Compostos bioativos. Planejamento fatorial.

## ABSTRACT

Acerola (*Malpighia glabra* e *M. emarginata*) is a tropical fruit widely cultivated in Brazil, mainly in the northeast region, where high luminosity throughout the year favors its production. It is rich in bioactive compounds such as anthocyanins, phenolic compounds, flavonoids and ascorbic acid. There is a significant difference in the nutrient profile of this fruit depending on the variety, climatic conditions and growing region. Due to its high perishability, it is necessary to use conservation processes such as spray drying. As a fruit with low acidity and rich in sugars and low molecular weight substances, it presents several challenges in drying due to its low glass transition temperature. Sharp losses may occur during atomization and difficulty in handling the dried extract. The aim of this study was to evaluate the drying conditions of concentrated acerola juice obtained from green acerolas. A central composite rotatable design (CCRD) was carried out to study the effects of temperature ( $X_1$ ) and maltodextrin concentration ( $X_2$ ) on yield, ascorbic acid content, phenolic compounds, water activity, water content, hygroscopicity, solubility and color. When analyzing the results, it was possible to see that the central points of the DCCR were the best conditions for obtaining the highest yield and retention of ascorbic acid, with a temperature of 145°C and 16.5% maltodextrin. It was analyzed that increasing the concentration of maltodextrin contributed to reducing the water content, that the solubility of the powder obtained was not affected by the study variables, that the color is affected by both the concentration of the carrier and the temperature and that obtaining less hygroscopic powders is favored by increasing the concentration of maltodextrin and reducing the temperature.

**Keywords:** Drying. Ascorbic acid. Unripe acerola. Bioactive compounds. Factorial planning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estágios de desenvolvimento da acerola. ....	13
Figura 2 - Diagrama esquemático de secagem por Spray dryer e fatores que afetam a qualidade do produto.....	16
Figura 3 - Estrutura molecular da maltodextrina.....	19
Figura 4 - Fluxograma de etapas do processo de produção de suco de acerola concentrado. ....	21
Figura 5 - Superfície de resposta para ácido ascórbico em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina. ....	37
Figura 6 - Superfície de resposta para rendimento em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina.....	38
Figura 7 - Superfície de resposta para teor de água em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina. ....	39
Figura 8 - Superfície de resposta para higroscopicidade em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina. ....	41
Figura 9 - Superfície de resposta para L* em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina (A) e superfície de resposta para h em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina (B).....	42
Figura 10 - Eletromicrografia de Varredura para os ensaios 01 (A), 02 (B), 04 (C) e 10 (D). ....	44



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teores de vitamina C em acerola obtido por diversos autores.....	14
Tabela 2 - Efeito da maltodextrina na Tg da sacarose, glicose, frutose e ácido cítrico.....	19
Tabela 3 - Resultados das análises da matéria-prima. ....	23
Tabela 4 - Variáveis independentes do DCCR para secagem em <i>Spray dryer</i> . ....	24
Tabela 5 - Ensaios de secagem, em <i>Spray dryer</i> , segundo DCCR. ....	25
Tabela 6 - Resultados das análises de rendimento, compostos fenólicos (CF), ácido ascórbico, atividade de água (Aw), teor de água, higroscopicidade, solubilidade e cor (L*, C* e h) dos ensaios de secagens segundo planejamento experimental do DCCR. ....	30
Tabela 7 - Estimativa do coeficiente de regressão (C.R.) e p-valor para rendimento, compostos fenólicos (CF), ácido ascórbico, atividade de água (Aw), teor de água, higroscopicidade e solubilidade dos ensaios de secagens segundo planejamento experimental do DCCR.....	34
Tabela 8 - Estimativa do coeficiente de regressão (C.R.) e p-valor para os parâmetros de cor (L*, C* e h) dos ensaios de secagens segundo planejamento experimental do DCCR. ....	35

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
2	<b>OBJETIVO</b> .....	12
2.1	Objetivo geral .....	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
3	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
3.1	Acerola.....	13
3.1.1	Estádio de maturação.....	15
3.2	Secagem por <i>Spray Dryer</i> .....	15
3.3	Maltodextrina .....	18
4	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	21
4.1	Material .....	21
4.1.1	Preparo da matéria-prima.....	21
4.1.2	Características da matéria-prima.....	23
4.2	Planejamento experimental .....	23
4.3	Secagem em <i>Spray dryer</i> .....	24
4.4	Análise dos pós atomizados do suco de acerola verde.....	25
4.4.1	Solubilidade.....	25
4.4.2	Atividade de água .....	26
4.4.3	Teor de água.....	26
4.4.4	Higroscopicidade .....	26
4.4.5	Rendimento de secagem .....	26
4.4.6	Análise colorimétrica .....	26
4.4.7	Morfologia.....	27
4.4.8	Compostos fenólicos totais.....	27
4.4.9	Determinação de ácido ascórbico por HPLC.....	27
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
5.1	Análise estatística do DCCR do processo de secagem .....	33
5.2	Ácido ascórbico.....	36
5.3	Rendimento .....	37
5.4	Teor de água.....	38
5.5	Higroscopicidade .....	40
5.6	Cor L* e h.....	41

<b>5.7</b>	<b>Compostos fenólicos totais, Aw, solubilidade e cor C* .....</b>	<b>42</b>
<b>5.8</b>	<b>Morfologia das partículas .....</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>
	<b>APÊNDICE A - Tabelas de ANOVA para as variáveis respostas do DCCR ..</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A acerola (*Malpighia glabra* e *M. emarginata*) é um fruto tropical nativo das ilhas do Caribe e cultivada em climas tropicais e subtropicais. Contém vários nutrientes e compostos bioativos, como antocianinas, compostos fenólicos, flavonóides, sendo que o ácido ascórbico natural ou vitamina C é o composto que mais se destaca do ponto de vista comercial, devido às suas altas concentrações. Algumas variedades de acerola contêm teores de vitamina C que variam de 1.500 e podem chegar a 4.500 mg/100 g, que é até 100 vezes maior que o teor de vitamina C encontrado na laranja (MISKINIS; NASCIMENTO; COLUSSI, 2023).

O Brasil é o maior produtor mundial de acerola e devido à alta perecibilidade, a comercialização e o consumo dos frutos *in natura* são limitados. Grande parte da produção é destinada para os processos industriais na obtenção de alimentos funcionais e nutracêuticos com ação antioxidante (BORGES *et al.*, 2021).

Aliados aos processos de extração, o processo de secagem possibilita a redução da atividade de água dos produtos, prolongando a vida de prateleira, já que inibe a atividade de enzimas naturais e reduz o crescimento microbiano, oferecendo assim formas mais práticas de manuseio do produto aos processadores de alimentos e consumidores. Um típico processo utilizado para muitos extratos vegetais é a secagem por pulverização ou atomização, que acontece em um secador do tipo *Spray dryer*. Este equipamento promove a atomização de um líquido contendo sólidos em pequenas gotículas de grande área superficial. As gotículas, ao se encontrarem com ar quente, são desidratadas rapidamente devido às altas taxas de transferência de calor e massa e o produto é coletado na forma de pó (CHEN *et al.*, 2020).

A secagem por pulverização, em alimentos ricos em açúcares e ácidos orgânicos, é dificultada devido à tendência que estes compostos exibem de apresentar comportamento pegajoso durante a secagem. Dois fenômenos acontecem: coesão partícula-partícula e adesão partícula-parede, que geram deposição de produto nas paredes do equipamento e dificuldade no escoamento e recuperação de pó ao final do processo, gerando perdas (TRUONG, 2014).

Devido a estas características, o objetivo da presente pesquisa é identificar as condições ótimas de secagem de suco de acerola concentrado para obtenção de produto em pó com melhor rendimento e maior retenção de vitamina C, através de um delineamento composto central rotacional (DCCR) sob diferentes condições de processo (temperatura de secagem e percentual de maltodextrina).

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo geral**

Realizar a secagem de suco de acerola verde concentrado em *Spray dryer*. Na secagem, foram avaliados os parâmetros: temperatura de secagem, concentrações do carreador (maltodextrina) e o efeito dessas variáveis no rendimento de secagem e na concentração de compostos bioativos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinação das condições de secagem.
- Caracterização dos pós quanto ao rendimento, compostos fenólicos totais, ácido ascórbico, atividade de água, teor de água, higroscopicidade, solubilidade e cor.
- Avaliação do efeito das condições de secagem nas características físico-químicas e teor de compostos bioativos no produto obtido.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Acerola

O cultivo da aceroleira no Brasil iniciou-se com a importação de sementes de Porto Rico, na década de 1950, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, despertando interesse geral devido ao alto conteúdo de vitamina C. Na época, iniciou-se um crescimento significativo das plantações comerciais de forma desordenada, gerando alta variabilidade genética e diferentes concentrações de fitonutrientes entre cultivares. Atualmente, grandes avanços foram obtidos na seleção de variedades com maiores teores de vitamina C, maior produtividade no campo e melhor rendimento industrial (RITZINGER *et al.*, 2018). Na Figura 1 é possível visualizar os estágios de desenvolvimento da acerola.

Figura 1 - Estágios de desenvolvimento da acerola.



Fonte: Amway Corporation, Inc. (2018).

A acerola (*Malpighia glabra* e *M. emarginata*) é uma fruta bem reconhecida pelo seu alto conteúdo de vitamina C, flavonóides, compostos fenólicos, antocianinas e carotenóides. Devido a essas características, vem sendo estudada como um importante alimento funcional e nutracêutico, com crescentes demandas de mercado. Compostos bioativos isolados e extratos de acerola são estudados também por suas diversas atividades benéficas à saúde e atividades biológicas como antioxidante, antitumoral e protetora e clareadora da pele (BELWAL *et al.*, 2018).

A vitamina C é um dos mais importantes fitoquímicos que podem ser encontrados em grande parte das frutas e vegetais. É termolábil, sensível à luz e facilmente oxidável. É utilizada como o nutriente mais frequentemente medido para avaliação da perda de outros nutrientes,

uma vez que se a vitamina C for bem preservada, os demais compostos também serão bem retidos (NEMA; KAUR; MUJUNDAR, 2021).

Os teores de vitamina C nos frutos de acerola podem apresentar grandes variações dependendo do estágio de maturação, época de colheita, clima e local de cultivo (MATSUURA *et al.*, 2001).

Na Tabela 1 é possível observar os teores de vitamina C da acerola, de acordo com diferentes autores (RIBEIRO, 2014):

Tabela 1 - Teores de vitamina C em acerola obtido por diversos autores.

<b>Autores</b>	<b>Vitamina C (mg de ácido ascórbico.100 g<sup>-1</sup>)</b>
Matsuura <i>et al.</i> (2001)	835 a 1820
Lima <i>et al.</i> (2002)	1066,66 a 1845,79
Chaves <i>et al.</i> (2004)	1021 a 1822
Godoy <i>et al.</i> (2009)	911,96 a 1191,90
Maciel <i>et al.</i> (2010)	750 a 1678
Silva <i>et al.</i> (2011)	2789,89 a 3151,91

Fonte: Ribeiro (2014).

A secagem de frutas para obtenção de extratos em pó possibilita a redução das perdas pós-colheita, sua ampla distribuição e utilização em diversas formulações de produtos alimentícios, nutracêuticos e cosméticos. Os extratos secos de acerola podem ser usados como suplementos alimentares, em bebidas, produtos de confeitaria, produtos de panificação, conservação de carne, iogurtes e para melhorar o perfil nutricional de produtos. Estima-se que o mercado global de extrato de acerola atingirá US\$17,5 bilhões em 2026, com 8,5% de taxa de crescimento anual (BELWAL *et al.*, 2018).

Os extratos em pó obtidos a partir de acerola apresentam comportamento higroscópico e pegajoso devido seu alto teor em açúcares e compostos de baixo peso molecular. Essa característica dificulta o manuseio pela rápida absorção de umidade do ambiente, reduz a estabilidade do produto durante o armazenamento e a vida de prateleira dos produtos. Estratégias como adição de carreadores podem reduzir a higroscopicidade dos produtos e aumentar a retenção de compostos voláteis (RIBEIRO; COSTA; AFONSO, 2019).

Sobulska e Zbicinski (2021) reportaram que produtos ricos em açúcares, como sucos de frutas e mel, são defíceis de secar devido à baixa temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) de seus componentes, como frutose, glicose e ácido cítrico. Um produto, quando submetido à

temperatura acima de sua  $T_g$ , passa de um estado amorfo para gomoso, semelhante à borracha, de forma irreversível. Métodos para reduzir os impactos na transição vítrea dos produtos incluem adição de carreadores de alto peso molecular e temperaturas de secagem menores que a  $T_g$  dos produtos.

### **3.1.1 Estádio de maturação**

A acerola é uma fruta tropical reconhecida pelos altos teores de compostos antioxidantes e alto valor nutricional. Possui rápido crescimento e amadurecimento e altas concentrações de ascorbato. Durante seu processo de maturação, apresenta elevada taxa respiratória, que leva à redução do ascorbato e a um estado frágil e perecível. Vários fatores como espécie, ambiente e estágio de maturação são responsáveis pela composição química do fruto (SANTOS *et al.*, 2019).

No estudo de Xu *et al.* (2020), foi avaliada a variação de composição química entre frutos maduros e imaturos. As principais diferenças entre os dois estágios foi que grande parte dos aminoácidos, flavonóides, lipídios e terpenóides se acumularam em frutos maduros e o ácido ascórbico em frutos imaturos. O extrato alcoólico de acerola imatura, ainda, apresentou efeito DPPH superior ao maduro.

Nunes *et al.* (2011) demonstraram em seus estudos sobre antígenotoxicidade e atividade antioxidante que o extrato obtido a partir da fruta verde, nas concentrações de 0,5 e 1,0 mg/mL, induziu efeito protetor ao DNA contra danos causados por  $H_2O_2$ , o que não pode ser observado no extrato de acerola madura.

### **3.2 Secagem por *Spray Dryer***

Os alimentos, quando não apropriadamente protegidos, são facilmente atacados por microrganismos deteriorantes. Muitas técnicas como a salga, cura, defumação, conservas, congelamento e tratamento térmico tem sido aplicadas para preservar os alimentos por mais tempo. Algumas dessas técnicas podem levar a perdas significativas de nutrientes e alterações de aspectos sensoriais importantes como sabor e cor (SHAKER *et al.*, 2022).

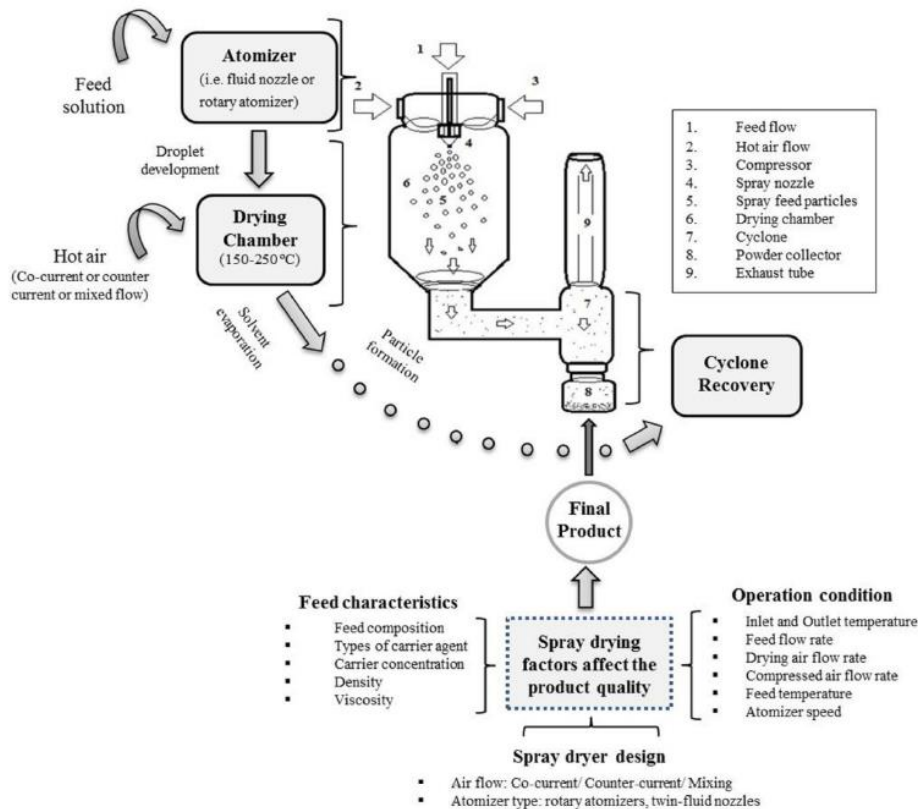
A secagem é uma das mais antigas técnicas utilizadas para conservação de alimentos. Além de atuar na remoção de água, gera mudanças físico-químicas que dificultam a deterioração dos produtos (ENGEL *et al.*, 2017). Com a secagem, as células de microrganismos



não conseguem se desenvolver em baixas atividades de água, o que torna o alimento estável e permite que o produto seja armazenado em temperatura ambiente (SHAKER *et al.*, 2022).

Na secagem por *Spray dryer*, a evaporação da umidade dos produtos é feita através da pulverização de uma solução líquida em atmosfera aquecida, o que resulta em altas taxas de secagem (CHEN *et al.*, 2020). Este mecanismo pode ser mais bem compreendido quando dividimos o processo em suas operações unitárias constituintes que são: atomização da solução, contato do produto com o ar quente e evaporação da umidade. A atomização consiste em levar uma substância líquida a um estado de divisão tão diminuto de gotas que isto reduz as resistências internas à transferência de umidade da gota para o meio circundante e influencia na forma, estrutura, velocidade e distribuição do tamanho de partículas e, por consequência, na natureza do produto final. Em uma atomização, um metro cúbico de um líquido forma aproximadamente  $2 \times 10^{12}$  gotas uniformes de 100 microns, resultando em uma área de superfície total de mais de 60.000 m<sup>2</sup> (MASTERS, 2002). A Figura 2 é possível observar os principais fatores que impactam na secagem por *spray dryer*.

Figura 2 - Diagrama esquemático de secagem por *Spray dryer* e fatores que afetam a qualidade do produto.



Fonte: Shishir e Chen (2017).

A grande área superficial formada permite atingir altas taxas de secagem. O tempo de secagem é proporcional ao quadrado da dimensão da partícula e, sendo muito curto, esse tempo proporciona perdas mínimas de compostos sensíveis ao calor. Mesmo as gotas estando em contato direto com o ar quente, a temperatura das partículas é mantida baixa devido ao resfriamento causado pelo processo de evaporação, chamado de resfriamento evaporativo (ANANDHARAMAKRISHNAN; ISHWARYA, 2015).

A evaporação da umidade, durante a secagem, pode ser descrita em um período de taxa constante e um período de taxa decrescente (HUANG, 2011). Quando o produto é exposto ao ar quente, ocorre uma rápida evaporação. Durante esta exposição, há um aquecimento desde a temperatura inicial até a temperatura de equilíbrio. Durante este período, a remoção de umidade segue em taxa constante de secagem e a umidade é removida da superfície da gota formada. À medida que a remoção de umidade prossegue, o soluto dissolvido no líquido atinge uma concentração além de sua concentração de saturação e tende a formar uma casca fina na superfície de cada gota, que pode ser descrita como “formação de crosta” (DOLINSKY, 2007).

A crosta solidificada retarda o transporte do solvente para a superfície da partícula, com isso a temperatura do produto começa a aumentar e a secagem torna-se limitada pela taxa de difusão. A formação da crosta mostra-se uma característica cinética importante, já que o produto que até então apresentava baixa temperatura passa a ser submetido a altas temperaturas, tendendo a degradar compostos sensíveis ao calor (FARID, 2003).

A técnica de secagem por *Spray dryer*, segundo Ramos *et al.* (2016), apresenta várias vantagens, o que a torna popular em diferentes setores. Algumas das principais vantagens incluem:

- Rapidez: O *Spray dryer* é capaz de secar líquidos rapidamente, convertendo-os em pó em questão de segundos. Isso é especialmente útil para a produção em larga escala, pois permite um alto rendimento e eficiência no processo de secagem.
- Alta capacidade de produção: A secagem por *Spray dryer* é adequada para a produção em grande escala, o que a torna eficiente para indústrias que precisam processar grandes volumes de líquidos em pó.
- Preservação de propriedades: Durante a secagem por *Spray dryer*, as altas temperaturas são aplicadas por um curto período de tempo, o que ajuda a preservar as propriedades físicas e químicas dos materiais. Isso é especialmente importante para produtos sensíveis ao calor e ingredientes termolábeis.

- Facilidade de formulação: A secagem por *Spray dryer* permite a produção de pó com diferentes formulações e características, como tamanhos de partículas variados, o que possibilita a obtenção de produtos personalizados para diferentes aplicações.
- Maior vida útil: A remoção do teor de água dos líquidos evita o crescimento de microrganismos, o que resulta em uma vida útil mais longa dos produtos secos.
- Redução de volume e peso: A transformação de líquidos em pó reduz significativamente o volume e o peso do produto final, facilitando o armazenamento, transporte e manuseio.
- Facilidade de dissolução: O pó obtido por secagem por *Spray dryer* geralmente possui boa solubilidade em água ou outros líquidos, o que é benéfico para a reconstituição rápida e fácil obtenção do produto em sua forma líquida original.
- Controle de umidade: A secagem por *Spray dryer* permite um controle preciso do teor de umidade do produto final, o que é importante para garantir a qualidade e estabilidade do produto.
- Versatilidade: O processo de secagem por *Spray dryer* pode ser aplicado a uma ampla variedade de líquidos, tornando-o uma escolha versátil para a indústria alimentícia, farmacêutica, química e outras.

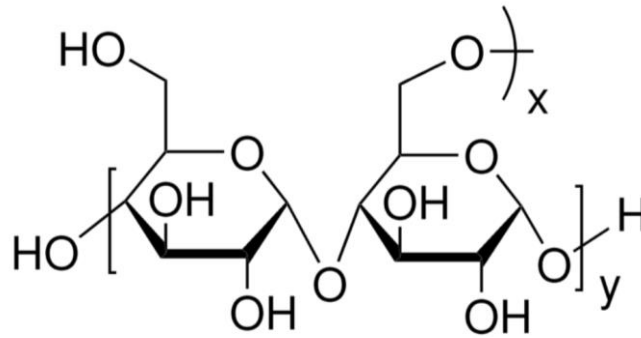
Apesar de suas muitas vantagens, a secagem por *Spray dryer* pode não ser adequada para todos os materiais e produtos. Em alguns casos, outras técnicas de secagem podem ser mais apropriadas, dependendo das características específicas do produto e das necessidades da indústria em questão.

### 3.3 Maltodextrina

A maltodextrina é um carboidrato complexo produzido a partir do amido. É um ingrediente muito utilizado na indústria de alimentos e suplementos esportivos devido às suas propriedades versáteis. Estruturalmente, a maltodextrina é uma cadeia de moléculas de glicose unidas, resultando em um polissacarídeo. A enzima amilase quebra o amido em unidades menores de glicose, maltose e dextrina durante a digestão. A maltodextrina é o resultado intermediário dessa quebra. A maltodextrina é o biopolímero mais utilizado como agente encapsulante ou carreador em *Spray dryer*. É obtida através da hidrólise parcial do amido, proveniente de diferentes fontes como batata, milho e mandioca e é responsável pela formação de filmes poliméricos em produtos microencapsulados. Em outros tipos de alimentos, quando

utilizada, confere diversas propriedades funcionais, como prevenção de cristalização, gelificação e ação espessante (BARTHOLD *et al.*, 2019). A Figura 3 mostra a estrutura espacial da molécula de maltodextrina.

Figura 3 - Estrutura molecular da maltodextrina.



Fonte: Sigma-Aldrich (2023).

Além da formação de filme, a maltodextrina é adicionada ao produto líquido para aumentar a temperatura de transição vítrea da mistura antes da secagem. Com a adição, a temperatura em que o produto apresenta pegajosidade é aumentada. Na maltodextrina, a  $T_g$  pode variar de 100°C a 243°C (TRUONG, 2014).

Segundo Truong (2014), a maltodextrina exerce efeitos diretos sobre a  $T_g$  das formulações antes da secagem, conforme ilustrado na Tabela 2:

Tabela 2 - Efeito da maltodextrina na  $T_g$  da sacarose, glicose, frutose e ácido cítrico.

Maltodextrina	$T_g$ (°C) da Mistura			
	Sacarose	Glicose	Frutose	Ácido Cítrico
100	205	205	205	205
90	166,0±5,0	-	-	-
80	140,0±3,5	-	-	-
70	125,0±3,0	110,0±3,8	90,0±3,6	86,1±3,1
60	105,0±2,2	73,7±1,8	60,0±2,4	51,3±1,8
50	96,5±2,5	61,0±1,6	49,5±1,2	44,5±1,9
40	87,0±2,0	57,8±0,9	40,2±0,9	36,2±1,6
30	80,5±2,1	45,6±1,4	34,4±0,8	30,4±0,9
20	74,0±1,9	42,0±2,5	28,0±1,1	26,1±0,8
0	65	38	16	12

Fonte: Truong (2014).

A classificação das maltodextrinas é baseada no valor de dextrose equivalente (DE). Quanto menos hidrolisadas, apresentam DE's mais baixos e estão mais próximas do amido de origem. À medida que o grau de hidrólise aumenta, aumentam também o valor de DE, a higroscopicidade e solubilidade, mas a cristalinidade, densidade, capacidade de formação de filme e  $T_g$  diminuem (LEE *et al.*, 2018).

Siccama *et al.* (2021) mostraram em seus estudos que o aumento da concentração de maltodextrina resultou em maior retenção de compostos voláteis na secagem de extrato concentrado de aspargos. As condições de secagem tiveram um efeito menor relacionado as características do produto, mesmo sob temperatura de 180°C.

Arilla *et al.* (2022) estudaram o efeito da adição de 0%, 2,5%, 5% e 7,5% de maltodextrina antes do tratamento térmico em suco de laranja. Concluíram que a maltodextrina promoveu um efeito protetor em todos os compostos bioativos durante o tempo de armazenamento do produto se comparado a amostra em que não houve adição. Com concentrações mais altas de maltodextrina, o produto apresentou maior capacidade antioxidante.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material

Suco de acerola verde concentrado, obtido a partir do processamento industrial de acerolas verdes da Fazenda Amway Nutrilite do Brasil Ltda, localizada no Sítio Jaburu, S/N, na cidade de Ubajara, estado do Ceará.

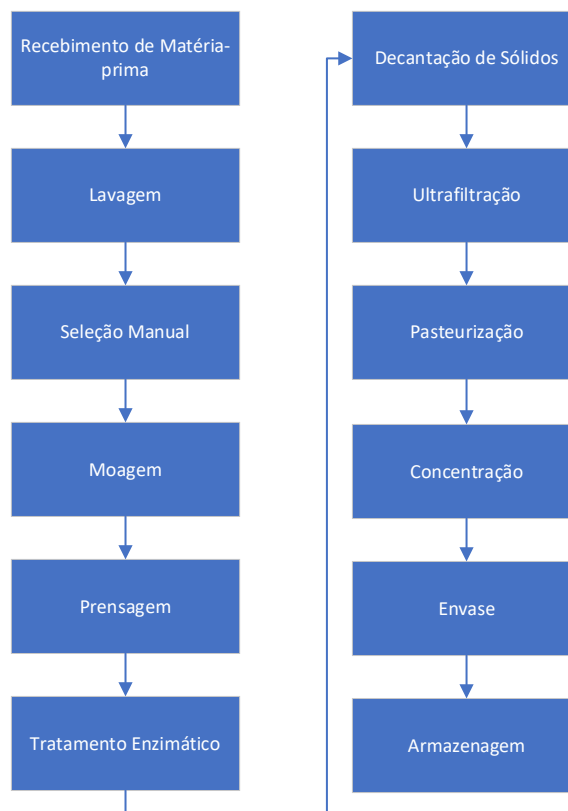
Maltodextrina DE 10 Maltrin® M100 Grain Processing Group.

Hidróxido de cálcio grau USP Labsynth

#### 4.1.1 Preparo da matéria-prima

O processo de produção do suco concentrado de acerola verde foi realizado na indústria segundo as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 4. Os extratos congelados foram doados pela empresa Fazenda Amway Nutrilite do Brasil Ltda e mantidos sob refrigeração até o preparo das soluções segundo o planejamento experimental.

Figura 4 - Fluxograma de etapas do processo de produção de suco de acerola concentrado.



Fonte: Da autora (2023).

1. Colheita mecanizada de frutos nos pomares de acerola localizados em Ubajara, Ceará. Os frutos colhidos foram acondicionados em caixas do tipo horti-fruti, vazadas nas laterais, para permitir boa circulação de ar para os frutos mesmo após empilhamento das caixas.
2. As caixas de acerola recebidas na indústria foram pesadas, registradas com número de lote e submetidas à inspeção visual para assegurar a ausência de contaminantes físicos, químicos e microbiológicos detectáveis visualmente.
3. Os frutos foram lavados com água potável em tanque de imersão provido de aspersores para remoção de sujidades, como poeira, areia, folhas e galhos.
4. Após lavagem, os frutos passaram por seleção manual em esteira rolante para remoção de frutos estragados ou outros contaminantes que podem não ter sido visualizados na inspeção de recebimento.
5. Os frutos inteiros foram transportados para moinho de martelos providos de tela vazada para controle do tamanho das partículas moídas com o objetivo de facilitar a extração de suco nas etapas subsequentes.
6. Após moagem, os frutos foram submetidos à prensagem para separação das sementes e casca e obtenção do suco.
7. O suco foi submetido a tratamento com enzima pectinase para quebra das cadeias de pectina, redução da viscosidade e auxílio na clarificação.
8. Parte dos sólidos insolúveis foi removida passando o produto pelo decanter.
9. O produto decantado foi submetido à ultrafiltração para clarificação e obtenção de suco sem sólidos insolúveis. A ultrafiltração é provida de um sistema de membranas poliméricas com poros de diâmetro capazes de reter os sólidos insolúveis e permitir a passagem de sólidos dissolvidos como as vitaminas, entre as quais o ácido ascórbico, e outros compostos bioativos de baixo peso molecular.
10. Após a ultrafiltração, o suco passou por um pasteurizador sob temperatura de 90°C para redução da carga microbiana a níveis aceitáveis.
11. Após a pasteurização, o suco passou por evaporador para concentração até aproximadamente 32° brix.
12. Foram coletadas amostras para o experimento em frascos de polietileno com capacidade para 1 litro e submetidas a congelamento lento sob temperatura de -15°C em câmara fria.

#### 4.1.2 Características da matéria-prima

A matéria-prima foi analisada (TABELA 3) na indústria, em laboratório interno, para liberação do lote do produto.

Tabela 3 - Resultados das análises da matéria-prima.

<b>Suco de acerola verde concentrado</b>		
°Brix	pH	Ácido Ascórbico (g/100 g)
31,71	3,0	7,63

Fonte: Da autora (2023).

O brix foi determinado em refratômetro digital de bancada RFM300-M da Bellingham+Stanley. O pH foi determinado em pHmetro de bancada da Mettler Toledo. As concentrações de Ácido Ascórbico foram determinadas em Titulômetro Automático da Mettler Toledo pelo método volumétrico de Iodometria, onde o ácido ascórbico reduz rapidamente iodo a íon iodeto, formando o ácido deidroascórbico.

#### 4.2 Planejamento experimental

Foi realizado um planejamento fatorial completo de ordem  $2^2$  com níveis +1 e -1, quatro pontos axiais nos níveis  $-\alpha$  e  $+\alpha$ , e três repetições no ponto central, nível zero, com 2 variáveis independentes. Portanto, o delineamento composto central rotacional (DCCR), fatorial completo, incluindo pontos axiais e 3 repetições no ponto central, totalizou 11 ensaios (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

Foram avaliados os efeitos de duas variáveis independentes: temperatura ( $X_1$ ; °C) e concentração de maltodextrina ( $X_2$ ; %). Na Tabela 4 tem-se as variáveis codificadas ( $X_i$ ) utilizadas no planejamento do DCCR. Nos tratamentos do DCCR não foi utilizada água para diluição do produto. Toda a água presente no suco foi oriunda do processo produtivo de beneficiamento do suco concentrado de acerola verde.



Tabela 4 - Variáveis independentes do DCCR para secagem em *Spray dryer*.

Variáveis	Variável Codificada	-1,41	-1	0	1	1,41
X <sub>1</sub> - Temperatura (°C)	X <sub>1</sub>	110	120	145	170	180
X <sub>2</sub> - Maltodextrina (%)	X <sub>2</sub>	3,0	7,0	16,5	26,0	30,0

Fonte: Da autora (2023).

Foram avaliadas como variáveis respostas o rendimento, compostos fenólicos totais, ácido ascórbico, atividade de água, teor de água, higroscopicidade, solubilidade e cor.

O software Statistic 14.1.0.8 foi utilizado para a análise estatística dos resultados. Todos os resultados foram avaliados a 5% de significância e realizou-se o teste F para análise da confiabilidade da regressão. As superfícies de resposta foram obtidas considerando o modelo completo (Eq. 1).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (1)$$

Onde, Y é a função variável resposta, X<sub>i</sub> (i = 1 e 2) são as variáveis codificadas estudadas,  $\beta_0$  é o termo constante,  $\beta_i$  é o coeficiente linear  $\beta_{ii}$  e  $\beta_{ij}$  são os termos quadráticos e interativos, respectivamente.

### 4.3 Secagem em *Spray dryer*

A secagem por atomização foi realizada em Mini Spray dryer modelo MSDi 1.0 Labmaq, fixando os seguintes parâmetros: bico atomizador de 1,0 mm de diâmetro, pressão de ar comprimido de 3,5 kgf/cm<sup>2</sup>, vazão do ar de atomização de 40,5 L/min e vazão de alimentação de 0,45 L/h.

As temperaturas de secagem mínima e máxima foram definidas de acordo com as limitações do *Spray dryer*, as concentrações de maltodextrina foram definidas com base nos valores típicos utilizados na indústria, para padronização da concentração de ácido ascórbico do extrato em pó. Já o pH foi ajustado para 7,0 com hidróxido de cálcio grau USP Labsynth para utilização como ingrediente em suplementos alimentares, o que já é praticado pela indústria. O carreador utilizado foi a maltodextrina DE 10 Maltrin® M100 Grain Processing Group e a sua concentração foi ajustada em relação aos sólidos solúveis do suco.

A solução de extrato foi mantida sob agitação por 30 minutos em banho maria na temperatura de 45°C. Após a preparação dos extratos, foram realizadas as secagens seguindo o planejamento experimental (TABELA 5).

Tabela 5 - Ensaio de secagem, em *Spray dryer*, segundo DCCR.

Ensaio	Variáveis reais	
	Temperatura (°C)	Maltodextrina (%)
1	120	7,0
2	170	7,0
3	120	26,0
4	170	26,0
5	110	16,5
6	180	16,5
7	145	3,0
8	145	30,0
9	145	16,5
10	145	16,5
11	145	16,5

Fonte: Da autora (2023).

#### 4.4 Análise dos pós atomizados do suco de acerola verde

##### 4.4.1 Solubilidade

O índice de solubilidade em água foi determinado conforme o método descrito por Cano-Chauca *et al.* (2005), com modificações. Foi adicionado 0,15 g de pó em 15 mL de água deionizada. Essa mistura foi colocada no agitador por 5 minutos. Em seguida, a mistura foi transferida para tubos Falcon de 15 mL e levados a centrífuga a uma velocidade de 2081 rpm durante 22 minutos. Após a centrifugação, 3,75 mL do sobrenadante foram retirados, colocados em béquer e levados imediatamente a estufa a 70°C por 12 horas. A porcentagem de solubilidade foi calculada conforme Equação 2:

$$Solubilidade (\%) = \frac{P_a - P_b}{0,0375} \times 100 \quad (2)$$

Onde:  $P_a$  e  $P_b$  correspondem ao peso do béquer mais amostra e ao peso inicial do béquer, respectivamente, e 0,0375 se refere ao fator de diluição.

#### 4.4.2 Atividade de água

A determinação de atividade de água foi realizada utilizando o equipamento Aqualab (3TE model, Decagon Devices) em  $25 \pm 0,3^\circ\text{C}$ .

#### 4.4.3 Teor de água

O teor de água foi determinado conforme AOAC (2005). A porcentagem do teor de água foi calculada conforme Equação 3:

$$\text{Teor de água (\%)} = \frac{\text{peso da amostra inicial} - \text{peso da amostra final}}{\text{peso da amostra inicial}} \times 100 \quad (3)$$

#### 4.4.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada de acordo com Tonon *et al.* (2009), no qual 1 g de pó foi acondicionado em um recipiente hermeticamente fechado contendo solução saturada a 75% de cloreto de sódio (NaCl). As amostras foram colocadas a  $25^\circ\text{C}$  e pesadas em intervalos de 24 horas até atingir o equilíbrio. A higroscopicidade foi calculada conforme Equação 4:

$$\text{Higroscopicidade (\%)} = \left[ \frac{\frac{\Delta m}{(M+M_i)}}{1 + \frac{\Delta m}{M}} \right] \times 100 \quad (4)$$

Onde:  $\Delta m$  (g) é o aumento de massa do pó após o equilíbrio,  $M$  (g) é a massa inicial de pó e  $M_i$  é o conteúdo de água livre no pó antes da exposição ao ar úmido do ambiente.

#### 4.4.5 Rendimento de secagem

O rendimento do processos de secagem foi calculado conforme Cuevas-Glory (2017): foi avaliado pela determinação da recuperação do produto, dada pela razão percentual entre a massa total do produto recuperado e a massa do extrato fornecido ao sistema em base seca.

#### 4.4.6 Análise colorimétrica

A determinação da cor foi realizada em colorímetro (modelo CM5, Konica Minolta Spectrophotometer), operando no sistema CIE LCH, para medir os parâmetros L, C, e h segundo Gennadios *et al.* (1996).

#### 4.4.7 Morfologia

As morfologias das superfícies dos pós foram observadas em um microscópio eletrônico de varredura. As amostras foram fixadas em stubs de alumínio, com um adesivo de carbono de dupla face, e então, recobertas com uma fina camada de ouro com espessura de ~20nm, depositada por sputtering, sob vácuo de ~10<sup>-5</sup>torr, e realizadas as análises de superfície dos pós. As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultra estrutural do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras – MG.

#### 4.4.8 Compostos fenólicos totais

A análise de fenólicos foi realizada de acordo com o método adaptado de Folin Ciocalteu (WATERHOUSE, 2002). Os extratos (0,5 mL) em pó foram diluídos em álcool etílico absoluto e misturados com 2,5 mL de reagente de Folin-Ciocalteu (10%) e 2 mL de solução de carbonato de sódio (4%). A mistura foi agitada e mantida à temperatura ambiente durante 2 horas, no escuro. A absorvância foi medida a 750 nm. Soluções aquosas de ácido gálico foram utilizadas para construção da curva padrão. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico (GAE)/g de pó.

#### 4.4.9 Determinação de ácido ascórbico por HPLC

A extração com ácido ascórbico foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Barcia *et al.* (2010), com pequenas modificações. Aproximadamente 1 g de amostra foi pesada e adicionados 10 mL de solução de ácido metafosfórico (4,5%) em água ultrapura e deixados em repouso por 1 hora em frasco âmbar. A amostra foi posteriormente filtrada com papel de filtro e o sobrenadante foi centrifugado a 7.000 rpm por 10 minutos e transferido para um frasco de 1,5 mL. Este foi colocado em banho de ultrassom (marca Unique, modelo USC 2850 A, Indaiatuba, Brasil) por 30 minutos. Um cromatógrafo líquido de alto desempenho (HPLC, Shimadzu, LC-20AT) equipado com um detector UV (Shimadzu, SPD-20A) foi usado para determinar o teor de ácido ascórbico nas amostras de acordo com Vinci *et al.* (1995) com modificações. A separação foi realizada em coluna Phenomenex 5 µm C18 (250 x 4,6 mm), termostaticada a 30°C. A fase móvel foi uma solução aquosa de ácido acético 0,15% (v/v) com vazão de 1,0 mL min<sup>-1</sup>. A detecção foi realizada a 254 nm. O pico de ácido ascórbico foi identificado pelo seu tempo de retenção em comparação com as soluções padrão. A curva

analítica foi obtida a partir do cromatograma dos padrões medindo as áreas dos picos do ácido ascórbico nas mesmas condições de separação aplicadas às amostras. As concentrações padrão de ácido ascórbico variaram de 1 a 600 mg/L. As análises foram realizadas na Universidade Federal de Viçosa - MG.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados das análises experimentais de rendimento, compostos fenólicos totais, ácido ascórbico, atividade de água, teor de água, higroscopicidade, solubilidade e cor estão na Tabela 6, obtidos do estudo da influência das variáveis do processo analisadas (temperatura e concentração de maltodextrina) conforme Delineamento Composto Central Rotacional (item 4.3). Nesta Tabela 6 são especificados os níveis codificados das variáveis independentes do DCCR para cada ensaio e respectivos valores das variáveis respostas.

Tabela 6 - Resultados das análises de rendimento, compostos fenólicos (CF), ácido ascórbico, atividade de água (Aw), teor de água, higroscopicidade, solubilidade e cor (L\*, C\* e h) dos ensaios de secagens segundo planejamento experimental do DCCR.

Ensaio	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Rendimento [%]	CFT [mg GAE/g]	Ácido ascórbico [g/ 100 g]	Aw	Teor de água [%]	Higroscopicidade [%]	Solubilidade [%]	Cor		
										L*	C*	h
1	-1	-1	60,93	117,59	24,30	0,283	9,21	21,01	95,73	80,00	35,25	87,54
2	1	-1	53,84	161,14	23,03	0,180	8,33	22,03	99,33	76,10	38,27	83,06
3	-1	1	53,56	107,16	24,16	0,216	6,99	20,01	92,13	80,28	33,64	85,86
4	1	1	61,15	231,80	24,87	0,194	5,21	21,72	92,00	77,17	37,11	82,60
5	-141	0	54,56	236,94	24,09	0,227	7,86	20,47	88,00	80,06	33,93	85,97
6	1,41	0	40,43	238,91	25,86	0,214	7,42	21,79	89,07	78,95	34,30	83,23
7	0	-1,41	39,45	258,71	21,38	0,255	10,33	21,78	87,20	78,08	37,86	86,20
8	0	1,41	39,48	273,02	20,37	0,237	5,63	21,10	92,93	78,89	34,52	84,40
9	0	0	67,97	232,10	25,70	0,227	6,88	21,63	90,00	74,43	35,50	80,89
10	0	0	68,24	234,61	25,36	0,181	6,39	21,94	93,33	75,77	34,61	82,08
11	0	0	68,11	253,42	24,90	0,194	7,16	22,00	88,80	73,37	35,50	79,81

Variáveis codificadas: X<sub>1</sub>: temperatura; X<sub>2</sub>: maltodextrina.

Fonte: Da autora (2023).

Conforme Tabela 6, observa-se que o rendimento de secagem variou de 39,45% a 68,24%. Os valores máximos foram obtidos no ponto central com temperatura de 145°C e concentração de maltodextrina de 16,5%. Os menores rendimentos foram obtidos nos pontos onde as concentrações de maltodextrina foram 3% e 30%, que são as concentrações mínima e máxima, respectivamente. Le *et al.* (2018) obtiveram rendimentos entre 82,02% e 84,62% na secagem de suco de acerola madura concentrado, utilizando temperaturas de secagem variando de 130°C a 150°C, com 1,5 a 2,5, proporção de maltodextrina em relação aos sólidos do suco. Para comparação, este estudo utilizou proporções equivalentes a 0,03 a 0,3 vezes a proporção de maltodextrina em relação à massa seca do suco concentrado. Já Aragüez-Fortes, Robaina-Morales e Pino (2019) obtiveram rendimento de 67,9% para o extrato de goiaba obtido em *Spray dryer*. Este valor foi alcançado com concentração de maltodextrina de 75% em base seca de sólidos em relação ao suco, superior ao deste estudo, sob temperatura de 148°C.

As concentrações de compostos fenólicos variaram de 107,16 mg GAE/g, sob temperatura de 120°C e 26% de maltodextrina, a 273,02 mg GAE/g, sendo esta a maior concentração, no ensaio realizado a temperatura de 145°C com 30% de maltodextrina. Karaca, Guzel e Ak (2016) avaliaram os efeitos das condições de secagem de suco concentrado de cereja azeda em *Spray dryer* e encontraram concentrações de compostos fenólicos totais que variaram de 16,9 a 24,6 mg GAE/g no extrato em pó obtido. Na condição ótima de secagem, a concentração máxima de sólidos de cereja azeda foi limitada a 25% da formulação em relação ao agente carreador maltodextrina. Este estudo encontrou valores de compostos fenólicos totais até 11 vezes maior que o encontrado no estudo com cereja azeda, o que pode ser explicado pela própria diferença nas características das frutas, cereja e acerola, mas também pelo grau de maturação dos frutos, madura e verde, e pH das formulações para secagem, com pH 3,2 para suco de cereja concentrado e pH 7,0 para suco de acerola verde concentrado, após a adição de hidróxido de cálcio. Horuz, Altan e Maskan (2012), em seus estudos sobre otimização da secagem de suco de romã em *Spray dryer*, avaliaram que a temperatura e a concentração de maltodextrina afetaram o conteúdo de composto fenólicos proporcionalmente. Eles observaram que com baixo e alto percentual de maltodextrina, o aumento da temperatura resultou no aumento do teor de compostos fenólicos totais. Os autores evidenciaram ainda que em temperaturas baixas e altas, o aumento da concentração de maltodextrina também resultou no aumento do teor de compostos fenólicos totais. Neste estudo, foram encontrados resultados semelhantes aos dos autores se compararmos os resultados dos ensaios 01 e 04; 02 e 03.

A maior concentração de ácido ascórbico apresentada foi de 25,86 g/100 g, com temperatura de 180°C e 16,5% de maltodextrina, no ensaio 6. A menor concentração encontrada foi no ensaio 8 com 20,37 g/100 g, na temperatura de 145°C e 30% de maltodextrina. Aragüez-Fortes, Robaina-



Morales e Pino (2019), em suas pesquisas sobre otimização da secagem de suco de goiaba em *Spray dryer*, concluíram que a concentração de maltodextrina teve efeito positivo na retenção de ácido ascórbico e que este efeito pode ser atribuído à proteção do carreador aos compostos termolábeis como o ácido ascórbico. Neste estudo, foi possível visualizar diferenças que corroboram com esta conclusão comparando os resultados dos ensaios 02 e 04, nos quais foram adicionados 7% e 26% de maltodextrina, respectivamente, e com secagem sob mesma temperatura de 170°C. O extrato obtido no ensaio 04 apresentou 8% a mais de ácido ascórbico em comparação ao ensaio 02.

Em todas as condições de secagem, os extratos apresentaram baixos valores de atividade de água, que variaram de 0,180 a 0,255, o que favorece sua estabilidade no armazenamento. Em seu estudo, Braga *et al.* (2020) encontraram valores de  $A_w$  aproximados, de 0,210, 0,208 e 0,107 para os extratos obtidos a partir de suco de abacaxi com hortelã, secos em *Spray dryer*, com concentrações de maltodextrina de 0%, 3% e 15%.

Os teores de água analisados variaram de 5,21% a 10,33%. O menor teor de água foi obtido no ensaio 4 com temperatura de 170°C e 26% de maltodextrina e o maior teor foi obtido a 145°C com 3% de maltodextrina no ensaio 7. Com isso, podemos observar que o maior valor foi obtido com a menor concentração de maltodextrina. Kim, Kim e Eun (2023), em seus estudos sobre extratos de suco de damasco japonês, obtiveram teores de água mínimo e máximo, respectivamente, de 1,37% com 20% de maltodextrina e de 8,12% com 10% de maltodextrina e concluíram que o teor de umidade diminui quando a concentração do carreador aumenta.

A higroscopicidade variou de 20,01% a 22,03% até estabilização da massa das amostras. De acordo com a classificação do GEA Niro Research Laboratory (2003), os extratos de acerola verde obtidos podem ser classificados como muito higroscópicos, com exceção do extrato obtido no ensaio 03, classificado como higroscópico. Ribeiro, Costa e Afonso (2019), ao analisar a higroscopicidade do extrato de polpa de acerola obtida via *Spray dryer*, com 17,1% de maltodextrina, encontraram valores de 5,18%, classificando o pó como não higroscópico. As diferenças nas higroscopicidades entre os extratos de acerola verde deste estudo e o pó obtido a partir da polpa de acerola madura podem estar associadas ao grau de maturação dos frutos utilizados. Já Aragüez-Fortes, Robaina-Morales e Pino (2019) obtiveram, no extrato de goiaba seco por *Spray dryer*, higroscopicidades que variaram de 21,90% a 27,80% com concentrações de maltodextrina de 50% a 75% em base seca em relação ao suco e temperaturas que variaram de 130°C a 170°C.

A solubilidade dos extratos variou de 87,20% a 99,33%. A menor solubilidade foi atingida no ensaio 7 com 3% de maltodextrina e a maior com 7% de maltodextrina no ensaio 2. Em seus estudos, Braga *et al.* (2020) analisaram extratos de abacaxi com hortelã com três diferentes concentrações de maltodextrina, 0%, 3% e 15% e obtiveram resultados de solubilidade acima de 98% nos três casos.

Assim, concluíram que a solubilidade não foi afetada pelo adjuvante, já que o aumento da concentração de maltodextrina não causou redução da solubilidade dos pós.

Na avaliação dos atributos de cor foi adotado o espaço  $L^*C^*h$ . Neste espaço, o parâmetro  $L^*$ , que indica luminosidade, variou de 80,28 para o extrato mais claro e 73,37 para o extrato mais escuro, nos ensaios 03 e 11, respectivamente. O parâmetro  $C^*$ , que indica saturação, variou de 33,64 a 38,27, para a menor e a maior saturação de cor, nos ensaios 3 e 2, respectivamente. Para o parâmetro  $h$ , a maior diferença de tonalidade se deu entre os extratos obtidos nos ensaios 1 e 11, com  $h$  de 87,54 e 79,81, respectivamente. De acordo com o estudo de Braga *et al.* (2020) sobre a secagem de abacaxi com hortelã em *Spray dryer*, a luminosidade aumentou com o aumento da concentração de maltodextrina, apresentando os valores de 33,65, 55,72 e 57,56 para os extratos cujas concentrações foram de 0, 5 e 15%, respectivamente. Neste estudo, foi possível observar comportamento semelhante nos ensaios em que a temperatura foi a mesma, mas a concentração de maltodextrina foi diferente, como nos ensaios 08, 09, 10, 11. Além da concentração de maltodextrina, houve também contribuição da temperatura, como nos ensaios 03 e 04, onde ambos tinham 26% de maltodextrina, mas a luminosidade foi mais alta no ensaio de menor temperatura.

### **5.1 Análise estatística do DCCR do processo de secagem**

A análise estatística dos resultados experimentais do DCCR permitiu a obtenção de modelos para descrever o comportamento das variáveis independentes. Nas Tabelas 7 e 8 tem-se os valores dos coeficientes de regressão, seus respectivos p-valores e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para as variáveis respostas rendimento, compostos fenólicos, ácido ascórbico, atividade de água, teor de água, higroscopicidade e solubilidade e cor dos pós.

Tabela 7 - Estimativa do coeficiente de regressão (C.R.) e p-valor para rendimento, compostos fenólicos (CF), ácido ascórbico, atividade de água (Aw), teor de água, higroscopicidade e solubilidade dos ensaios de secagens segundo planejamento experimental do DCCR.

	Rendimento [%] (R <sup>2</sup> = 65,92%)		CFT [mg GAE/g] (R <sup>2</sup> = 30,10)		Ácido ascórbico [g/ 100 g] (R <sup>2</sup> = 82,24)		Aw (R <sup>2</sup> =69,38)		Teor de água [%] (R <sup>2</sup> = 94,11)		Higroscopicidade [%] (R <sup>2</sup> = 95,50)		Solubilidade [%] (R <sup>2</sup> = 10,69)	
	C.R	p-valor	C.R.	p-valor	C.R.	p-valor	C.R.	p-valor	C.R.	p-valor	C.R.	p-valor	C.R.	p-valor
<b>Média</b>	68,11	0,0001	240,04	0,0017	25,32	0,0000	0,20	0,0000	6,81	0,0000	21,86	0,0000	90,69	0,0000
<b>X<sub>1</sub>(L)</b>	-2,44	0,4950	21,37	0,4126	0,24	0,5417	-0,02	0,0970	-0,41	0,0733	<b>0,57*</b>	<b>0,0005*</b>	0,62	0,7310
<b>X<sub>1</sub>(Q)</b>	-6,83	0,1434	-25,43	0,4128	0,12	0,7894	0,01	0,5812	0,32	0,1971	<b>-0,39*</b>	<b>0,0062*</b>	0,30	0,8888
<b>X<sub>2</sub>(L)</b>	0,00	0,9995	10,06	0,6916	0,03	0,9312	-0,01	0,3153	<b>-1,50*</b>	<b>0,0004*</b>	<b>-0,28*</b>	<b>0,0106*</b>	-0,36	0,8434
<b>X<sub>2</sub>(Q)</b>	<b>-10,85*</b>	<b>0,0402*</b>	-11,46	0,7040	<b>-1,93*</b>	<b>0,0072*</b>	0,02	0,1304	0,49	0,0721	<b>-0,23*</b>	<b>0,0417*</b>	1,07	0,6229
<b>X<sub>1</sub> X<sub>2</sub></b>	3,67	0,4686	20,27	0,5752	0,49	0,3893	0,02	0,1642	-0,23	0,4208	0,17	0,1486	-0,93	0,7156

X<sub>1</sub> variável codificada da temperatura, X<sub>2</sub> variável codificada da concentração de maltodextrina, L indica o termo linear e Q indica o termo quadrático. (\*) indicam variáveis estatisticamente significativas, a 5% de significância.

Fonte: Da autora (2023).

Tabela 8 - Estimativa do coeficiente de regressão (C.R.) e p-valor para os parâmetros de cor (L\*, C\* e h) dos ensaios de secagens segundo planejamento experimental do DCCR.

	L*		C*		h	
	(R <sup>2</sup> = 87,00%)		(R <sup>2</sup> = 71,50)		(R <sup>2</sup> = 92,28)	
	C.R.	p-valor	C.R.	p-valor	C.R.	p-valor
<b>Média</b>	74,52	0,0000	35,20	0,0000	80,93	0,0000
<b>X<sub>1</sub>(L)</b>	-1,07	0,0542	0,88	0,0925	<b>-1,45*</b>	<b>0,0076*</b>
<b>X<sub>1</sub>(Q)</b>	<b>2,34*</b>	<b>0,0059*</b>	-0,32	0,5578	<b>1,79*</b>	<b>0,0066*</b>
<b>X<sub>2</sub>(L)</b>	0,31	0,4990	-0,94	0,0773	-0,59	0,1424
<b>X<sub>2</sub>(Q)</b>	<b>1,83*</b>	<b>0,0157*</b>	0,72	0,2102	<b>2,14*</b>	<b>0,0031*</b>
<b>X<sub>1</sub> X<sub>2</sub></b>	0,20	0,7576	0,11	0,8580	0,31	0,5500

X<sub>1</sub> variável codificada da temperatura, X<sub>2</sub> variável codificada da concentração de maltodextrina, L indica o termo linear e Q indica o termo quadrático. (\*) indicam variáveis estatisticamente significativas, a 5% de significância.

Fonte: Da autora (2023).

Foi considerado, para avaliar a significância para as variáveis, o p-valor menor que 0,05 e o  $F_{\text{calculado}}$  maior que o  $F_{\text{tabelado}}$  para a regressão. Isso foi observado para rendimento ( $R^2=65,92\%$ ), ácido ascórbico ( $R^2=82,24\%$ ), teor de água ( $R^2=94,11\%$ ), higroscopicidade ( $R^2=95,50\%$ ),  $L^*$  ( $R^2=87,00\%$ ) e  $h$  ( $R^2=92,28\%$ ). Por outro lado, os compostos fenólicos ( $R^2=30,10\%$ ),  $A_w$  ( $R^2=69,38\%$ ), solubilidade ( $R^2=10,69\%$ ), e  $C^*$  ( $R^2=71,50$ ) apresentaram p-valor maior que 0,05. Esses dados podem ser observados nas Tabelas de ANOVA que se encontram no Apêndice A, considerando-se o modelo completo (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

## 5.2 Ácido ascórbico

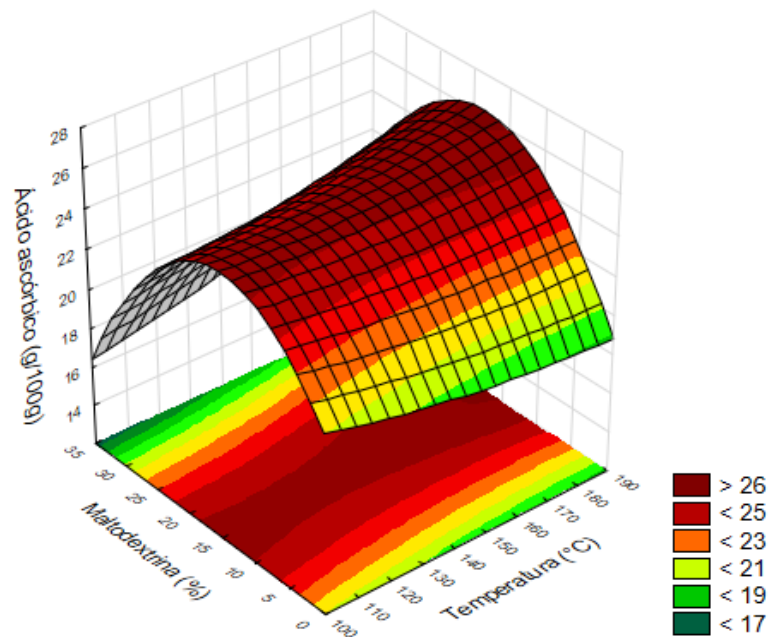
Para a concentração de ácido ascórbico (TABELA 7), verifica-se que o efeito estatisticamente significativo foi o termo quadrático da concentração de maltodextrina ( $X_2^2$ ) de forma negativa. Formou-se uma sela em que é possível observar, na Figura 5, que valores centrais de maltodextrina, independente da temperatura, favorecem a maior concentração de ácido ascórbico no pó.

O aumento do teor de maltodextrina, até certos níveis, na mistura de alimentação resultou em uma menor degradação do ácido ascórbico. Esse efeito pode ser atribuído ao aumento da eficiência de encapsulamento pelo material de transporte (ARAGÜEZ-FORTES; ROBAINA-MORALES; PINO, 2019). Em outros estudos, um aumento da estabilidade do ácido ascórbico também foi observado pelo aumento do conteúdo do transportador (CUEVAS-GLODY *et al.*, 2017; EROGLU; TONTUL; TOPUZ, 2018; PINO; ARAGÜEZ-FORTES; BRINGAS-LANTIGUA, 2018).

Abaixo tem-se o modelo estatístico completo para descrever a influência das variáveis independentes codificadas na variável resposta ácido ascórbico. Com o uso deste modelo foi possível gerar o gráfico de superfície de respostas (FIGURA 5).

$$\text{Ácido Ascórbico (\%)} = 25,32 + 0,24X_1 + 0,12X_1^2 + 0,03X_2 - 1,93X_2^2 + 0,49X_1X_2$$

Figura 5 - Superfície de resposta para ácido ascórbico em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina.



Fonte: Da autora (2023).

Conforme superfície de resposta (Figura 5), é possível prever que maiores retenções de ácido ascórbicos são obtidos com a adição de 10 a 18% de maltodextrina.

### 5.3 Rendimento

Em relação ao rendimento (TABELA 7) verifica-se que o efeito estatisticamente significativo foi o termo quadrático da concentração de maltodextrina ( $X_2^2$ ), sendo que o coeficiente de regressão do termo quadrático foi negativo, indicando um ponto de máximo na região de estudo. Podemos observar que a temperatura não foi significativa neste estudo, indicando a possibilidade de realizar as secagens em uma ampla faixa de temperaturas.

Ao observar a superfície de resposta na Figura 6, podemos notar que concentrações muito baixas e concentrações muito altas de maltodextrina, tendendo aos pontos axiais, reduzem o rendimento. A análise do ponto máximo pelo software Statistic, identifica a condição 145°C de temperatura e 16,50% de maltodextrina para obtenção do melhor rendimento, 67,97%.

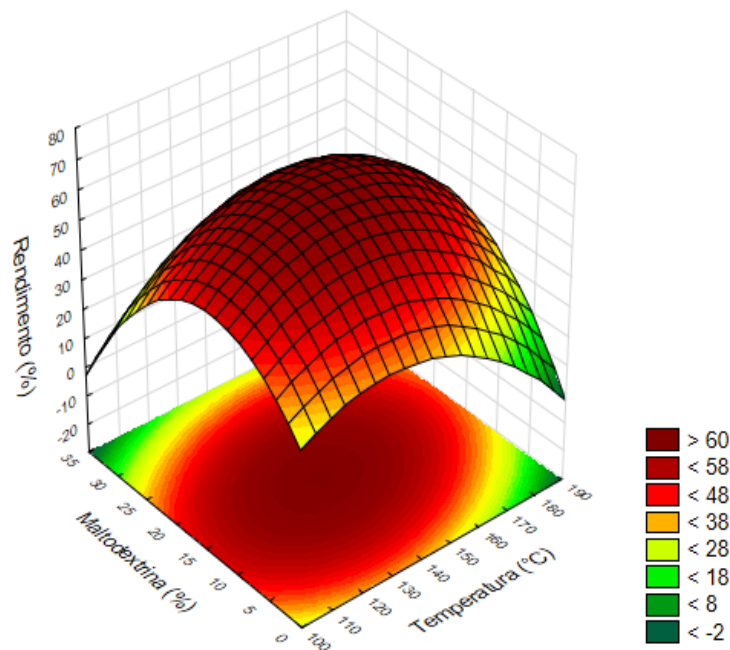
Rendimento em pó aumenta com a temperatura até um nível ideal devido à diferença entre a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e a temperatura da partícula. Quando a temperatura do ar de entrada é muito alta, a temperatura da partícula aumenta rapidamente acima da  $T_g$ , e a

gota gruda na superfície quente da câmara de secagem. Pelo contrário, quando a diferença é mínima, o pó gruda na superfície quente mais facilmente porque não está completamente seco e causa menor rendimento. É sabido que um aumento no conteúdo do material transportador diminui a pegajosidade e, como resultado, um aumento no rendimento em pó (ARAGÜEZ-FORTES; ROBAINA-MORALES; PINO, 2019). Esta tendência está de acordo com resultados publicados anteriormente (BAZARIA; KUMAR, 2016; LARGO-ÁVILA; CORTES-RODRÍGUEZ; CIRO VELÁSQUEZ, 2015; VARDIN; YASAR, 2012).

Abaixo tem-se o modelo estatístico completo para descrever a influência das variáveis independentes codificadas na variável resposta rendimento. Com o uso deste modelo foi possível gerar o gráfico de superfície de respostas (FIGURA 6).

$$\text{Rendimento (\%)} = 68,11 - 2,44X_1 - 6,83X_1^2 + 0X_2 - 10,85X_2^2 + 3,67X_1X_2$$

Figura 6 - Superfície de resposta para rendimento em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina.



Fonte: Da autora (2023).

#### 5.4 Teor de água

Em relação ao teor de água (TABELA 7) verifica-se que o efeito estatisticamente significativo foi o termo linear da concentração de maltodextrina ( $X_2$ ), sendo que o coeficiente de regressão do termo linear foi negativo, indicando que menores concentrações de maltodextrina aumentam o teor de água do extrato, o que pode ser observado na superfície de

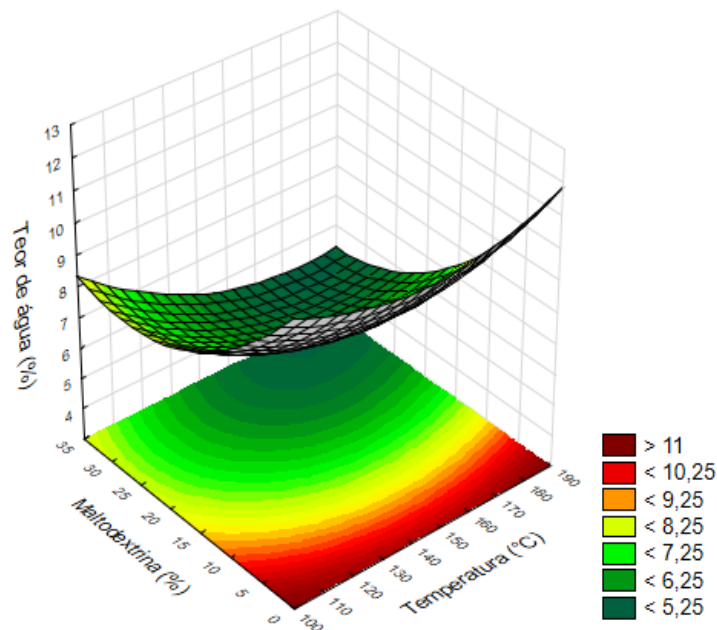
resposta (FIGURA 7). Foi observado que a temperatura não foi significativa, indicando baixa influência no teor de água do extrato obtido.

Um aumento no teor de maltodextrina causou uma diminuição na umidade do produto. A adição do carreador aumenta o conteúdo total de sólidos da formulação e diminui a massa de água livre para evaporar (ARAGÜEZ-FORTES; ROBAINA-MORALES; PINO, 2019). Muitos outros autores também observaram uma redução da umidade de pós obtidos em *Spray dryer* com o aumento do teor de material de transporte (PATIL; CHAUHAN; SINGH, 2014; SHISHIR *et al.*, 2014, 2015, 2016).

Abaixo tem-se o modelo estatístico completo para descrever a influência das variáveis independentes codificadas na variável resposta teor de água. Com o uso deste modelo foi possível gerar o gráfico de superfície de respostas (FIGURA 7).

$$\text{Teor de água (\%)} = 6,81 - 0,41X_1 + 0,32X_1^2 - 1,50X_2 + 0,49X_2^2 - 0,23X_1X_2$$

Figura 7 - Superfície de resposta para teor de água em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina.



Fonte: Da autora (2023).



## 5.5 Higroscopicidade

Para a higroscopicidade (TABELA 7) verifica-se que os efeitos da temperatura ( $X_1$ ;  $X_1^2$ ) e da concentração de maltodextrina ( $X_2$ ;  $X_2^2$ ), para os termos lineares e quadráticos, foram estatisticamente significativos, sendo que os coeficientes de regressão dos termos quadráticos foram negativos, indicando um ponto de máximo na região de estudo.

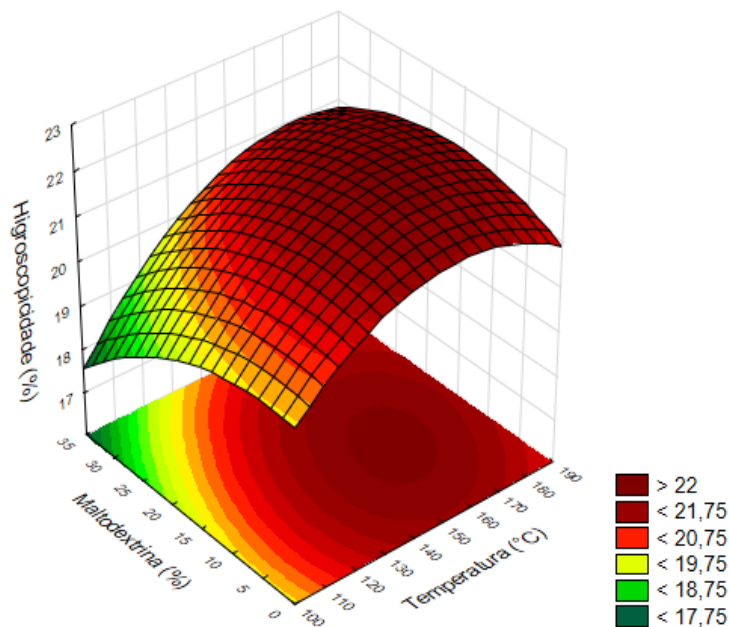
Ao observar a superfície de resposta na Figura 8, podemos notar que menores higroscopicidades, característica desejável para este produto, podem ser conseguidas com concentrações mais altas de maltodextrina e menores temperaturas de secagem. Ao analisar o ponto máximo pelo software Statistic, identificamos a condição 145°C de temperatura e 16,50% de maltodextrina para higroscopicidade de 21,94%.

Os agentes carreadores como a maltodextrina são reconhecidos na secagem por atomização, porque aumentam a  $T_g$  e a porcentagem de rendimento e reduzem a pegajosidade e a higroscopicidade do produto em pó (SHISHIR; CHEN, 2017).

Abaixo tem-se o modelo estatístico completo para descrever a influência das variáveis independentes codificadas na variável resposta higroscopicidade. Com o uso deste modelo foi possível gerar o gráfico de superfície de respostas (FIGURA 8).

$$\text{Higroscopicidade (\%)} = 21,86 + 0,57X_1 - 0,39X_1^2 - 0,28X_2 - 0,23X_2^2 + 0,17X_1X_2$$

Figura 8 - Superfície de resposta para higroscopicidade em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina.



Fonte: Da autor (2023).

## 5.6 Cor L\* e h

Para o parâmetro de cor L\* (TABELA 8), verifica-se que os efeitos estatisticamente significativos foram os termos quadráticos da temperatura ( $X_1^2$ ) e da concentração de maltodextrina ( $X_2^2$ ), sendo que os coeficientes de regressão dos termos quadráticos foram positivos, indicando um ponto de mínimo na região de estudo.

Ao analisar o ponto mínimo pelo software Statistic, identificamos a condição de 145°C de temperatura e 16,5% de maltodextrina para obtenção para um L\* de 73,37.

Em relação ao parâmetro de cor h (TABELA 8) verifica-se que os efeitos estatisticamente significativos foram os termos linear e quadrático da temperatura ( $X_1$ ;  $X_1^2$ ) e o termo quadrático da concentração de maltodextrina ( $X_2^2$ ), sendo que os coeficientes de regressão dos termos quadráticos foram positivos, indicando um ponto de mínimo na região de estudo.

Ao analisar o ponto mínimo pelo software Statistic, identificamos a condição de 145,0°C de temperatura e 16,50% de maltodextrina para obtenção de um h de 79,81.

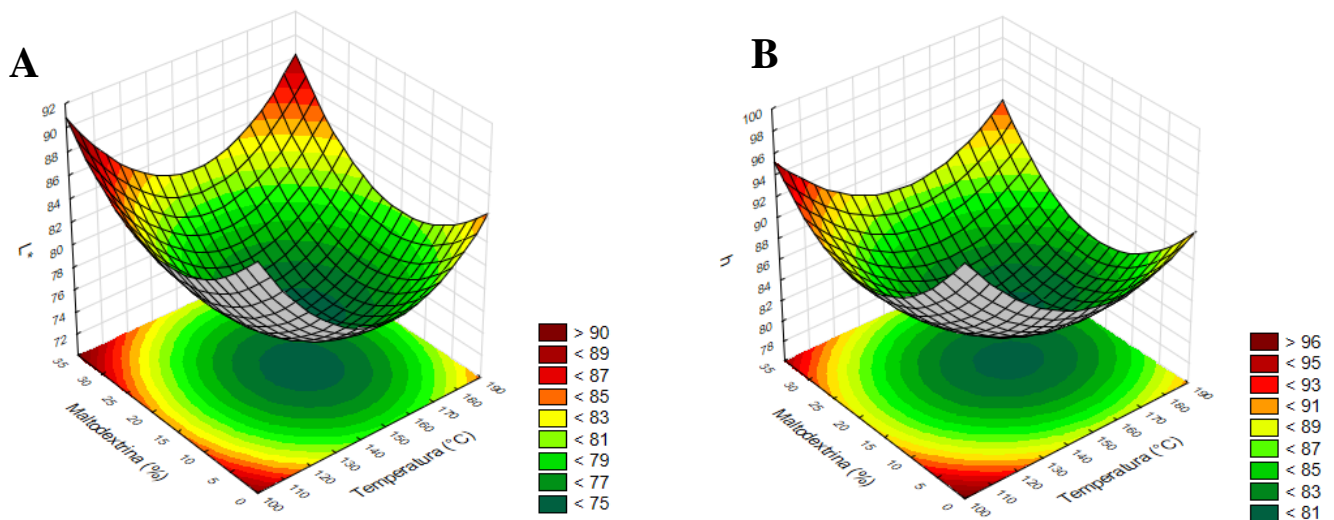
A maltodextrina e a temperatura afetam significativamente a diferença total de cor, devido à sensibilidade dos pigmentos ao processo de aquecimento e ao efeito de diluição da maltodextrina (incolor) na cor dos pós (HORUZ; ALTAN; MASKAN, 2012).

Abaixo tem-se os modelos estatísticos completos para descrever a influência das variáveis independentes codificadas nas variáveis resposta  $L^*$  e  $h$ . Com o uso destes modelos foi possível gerar os gráficos de superfícies de respostas (FIGURA 9).

$$L^* = 74,52 - 1,07X_1 + 2,34X_1^2 + 0,31X_2 + 1,83X_2^2 + 0,20X_1X_2$$

$$h = 80,93 - 1,45X_1 + 1,79X_1^2 - 0,59X_2 + 2,14X_2^2 + 0,31X_1X_2$$

Figura 9 - Superfície de resposta para  $L^*$  em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina (A) e superfície de resposta para  $h$  em função da temperatura de secagem e concentração de maltodextrina (B).



Fonte: Da autora (2023).

### 5.7 Compostos fenólicos totais, $A_w$ , solubilidade e cor $C^*$

Alguns dos modelos apresentaram baixos coeficientes de determinação e/ou p-valor maior que 0,05 e  $F_{\text{calculado}}$  menor que o  $F_{\text{tabelado}}$  para a regressão e por isso não foi possível gerar superfícies de resposta. Isso foi observado para compostos fenólicos ( $R^2=30,10\%$ ),  $A_w$  ( $R^2=69,38\%$ ), solubilidade ( $R^2=10,69\%$ ) e cor  $C^*$  ( $R^2=71,50$ ). Esses dados podem ser observados nas Tabelas de ANOVA que se encontram no Apêndice A, considerando-se o modelo completo (RODRIGUES; IEMMA, 2014). Portanto, para estas respostas, foi observado que as variáveis temperatura ( $X_1$ ) e concentração de maltodextrina ( $X_2$ ) não apresentaram efeitos significativos neste estudo.

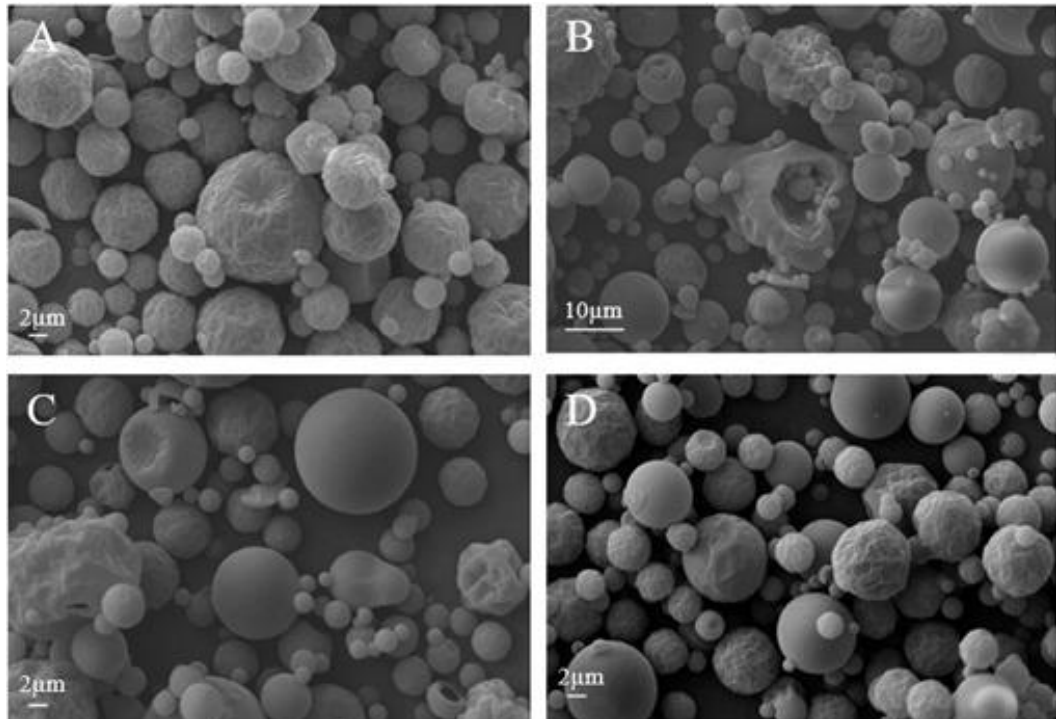
## 5.8 Morfologia das partículas

As partículas de (A) e (B) mostradas na Figura 10 correspondem aos ensaios 01 e 02, possuem a mesma concentração de maltodextrina de 7%, mas com temperatura diferentes de 120°C e 170°C, respectivamente. No caso de (A) as partículas apresentaram-se mais enrugadas, com superfícies irregulares. Em (B) já foi possível notar uma tendência de formação de partículas de superfícies mais lisas.

As partículas do ensaio 04 (C) foram secas à 170°C de temperatura e 26% de maltodextrina e a do ensaio 10 (D), à 145°C e 16,5% do carreador. Em ambos os casos, foram visualizadas partículas ligeiramente mais uniformes em tamanho e de superfícies mais lisas.

As irregularidades morfológicas nas partículas de pós produzidos em *Spray dryer* são devidas à taxa de evaporação da água durante o processo de secagem e temperaturas mais altas levam a um número mais significativo de partículas com uma superfície lisa. A adição de maltodextrina também contribui e diminuiu a tendência de aglomeração (BRAGA *et al.*, 2020).

Figura 10 - Eletromicrografia de Varredura para os ensaios 01 (A), 02 (B), 04 (C) e 10 (D).



Fonte: Da autora (2023).

## 6 CONCLUSÃO

O extrato em pó de suco de acerolas verdes apresenta alta concentração de compostos fenólicos e ácido ascórbico. A concentração máxima de compostos fenólicos foi de 258,71 mg GAE/100 g e de ácido ascórbico foi de 25,86 g/100 g.

Podemos identificar que maiores percentuais de maltodextrina favorecem a obtenção de pós com menores teores de água e menor higroscopicidade.

A cor dos pós é influenciada tanto pela concentração de maltodextrina quanto pela temperatura de secagem.

Não há influência da temperatura ou concentração de maltodextrina na solubilidade dos pós.

Temperaturas de secagem mais altas e maiores concentrações de maltodextrina produzem partículas com superfícies mais lisas e tamanhos mais regulares.

O melhor rendimento pode ser obtido no ponto central do DCCR com 145°C de temperatura e 16,5% de maltodextrina, neste mesmo ponto também se observa uma maior retenção de ácido ascórbico.

## REFERÊNCIAS

- AMWAY CORPORATION, INC. **Amway's farm in Brazil produces Acerola Cherries, improves watering techniques during drought.** Quality & Innovation, 2018. Disponível em: <https://www.amwayglobal.com/newsroom/amway-brazil-farm-produces-acerola-cherries-improves-watering-techniques-during-drought/>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; ISHWARYA, P. **Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.
- ARAGÜEZ-FORTES, Y.; ROBAINA-MORALES, L. M.; PINO, J. A. Optimization of the spray-drying parameters for developing guava powder. **Journal of Food Process Engineering**, [United States], v. 42, n. 6, Oct. 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpe.13230>. Acesso em: 10 maio 2023.
- ARILLA, E. *et al.* Stability of vitamin C, carotenoids, phenols, and antioxidant capacity of pasteurised orange juice with resistant maltodextrin storage. **Food Science and Technology International**, [England], Sept. 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36083164/>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 18th ed. Washington: AOAC, 2005.
- BARCIA, M. T. *et al.* Determinação de ácido ascórbico e tocoferóis em frutas por CLAE. **Semina: Ciências Agrárias**, [Londrina], v. 31, n. 2, p. 381–390, jul. 2010. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/5341>. Acesso em: 02 abr. 2023.
- BARTHOLD, S. *et al.* Preparation of maltodextrin nanoparticles and encapsulation of bovine serum albumin – Influence of formulation parameters. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, [Netherlands], v. 142, p. 405-410, Sept. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0939641119303509>. Acesso em: 11 maio 2023.
- BAZARIA, B.; KUMAR, P. Optimization of spray drying parameters for beetroot juice powder using response surface methodology (RSM). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, [Saudi Arabia], v. 17, n. 4, p. 408–415, Oct. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X16300807>. Acesso em: 15 maio 2023.
- BELWAL, T. *et al.* Phytopharmacology of Acerola (*Malpighia* spp.) and its potential as functional food. **Trends in Food Science & Technology**, [England], v. 74, p. 99-106, Apr. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224417306805>. Acesso em: 08 mar. 2023.

BORGES, O. M. A. *et al.* Integrated green-based methods to recover bioactive compounds from by-product of acerola processing. **LWT**, [England], v. 151, Nov. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821012573>. Acesso em: 16 maio 2023.

BRAGA, V. *et al.* Production and characterization of pineapple-mint juice by spray drying. **Powder Technology**, [Switzerland], v. 375, p. 409–419, Apr. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591020307579>. Acesso em: 05 jul. 2023.

CANO-CHAUCA, M. *et al.* Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [Oxford], v. 6, n. 4, p. 420–428, Dec. 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856405000834>. Acesso em: 07 fev. 2023.

CHEN, X. D. *et al.* **Frontiers in Spray Drying**. Boca Raton: CRC Press, 2020. p. 6-10.

CUEVAS-GLORY, L. F. *et al.* Optimization of the spray-drying process for developing stingless bee honey powder. **International Journal of Food Engineering**, [United States], v. 13, n. 1, Jan. 2017. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/ijfe-2016-0217/html>. Acesso em: 20 jun. 2023.

DOLINSKY, A. A. High-temperature spray drying methods. **Drying Technology**, [United States], v. 19, n. 5, p. 785–806, Feb. 2007. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/DRT-100103770>. Acesso em: 05 fev. 2023.

ENGEL, B. *et al.* Emprego de *Spray dryer* na indústria de alimentos: Uma breve revisão. **Revista Jovens Pesquisadores**, Santa Cruz do Sul, v. 7, n. 2, p. 2-11, jul./dez. 2017. Disponível em: <https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://online.unisc.br/seer/index.php/jovenspesquisadores/article/view/9824/6939&ved=2ahUKEwi5tMPv95uCAxWqg5UCHRLkBBEQFnoECAIQAg&usg=AOvVaw36AydSmGlhafgdpmMv0JHe>. Acesso em: 07 fev. 2023.

EROGLU, E.; TONTUL, I.; TOPUZ, A. Optimization of aqueous extraction and spray drying conditions for efficient processing of hibiscus blended rosehip tea powder. **Journal of Food Processing & Preservation**, [United States], v. 42, n. 6, June 2018. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.13643>. Acesso em: 30 jan. 2023.

FARID, M. A new approach to modeling of single droplet drying. **Chemical Engineering Science**, [United States], v. 58, n. 13, p. 2985–2993, July 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0009250903001611>. Acesso em: 10 fev. 2023.

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. **Analytical methods dry milk products**. GEA niro analytical methods, Methods 14 a and 15 a. Soeborg: GEA Niro Research Laboratory, 2003.



GENNADIOS, A. *et al.* Mechanical and barrier properties of egg albumen films. **Journal of Food Science**, [Malden], v. 61, n. 3, p. 585-589, May 1996. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1996.tb13164.x>. Acesso em: 28 jun. 2023.

HORUZ, E.; ALTAN, A.; MASKAN, M. Spray Drying and Process Optimization of Unclarified Pomegranate (*Punica granatum*) Juice. **Drying Technology**, [United States], v. 30, n. 7, p. 787-798, Apr. 2012. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2012.663434>. Acesso em: 28 jun. 2023.

HUANG, D. **Modeling of particle formation during spray drying**. European Drying Conference – EuroDrying’ 2011. Palma. Balearic Island, Spain, 2011.

KARACA, A. C.; GUZEL, O.; AK, M. M. Effects of processing conditions and formulation on spray drying of sour cherry juice concentrate. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [England], v. 96, n. 2, p. 449-455, Jan. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25641719/>. Acesso em: 14 jul. 2023.

KIM, J.-H.; KIM, J. H.; EUN, J.-B. Optimization of spray drying process of Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) juice powder using nondigestible maltodextrin by response surface methodology (RSM). **Journal of Food Science and Technology**, [India], v. 60, p. 868–878, Mar. 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-020-04917-1>. Acesso em: 29 jun. 2023.

LARGO-AVILA, E.; CORTES-RODRÍGUEZ, M.; CIRO-VELÁSQUEZ, H. J. Influence of maltodextrin and spray drying process conditions on sugarcane juice powder quality. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, v. 68, n. 1, p. 7509–7520, Jan./June 2015. Disponível em: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0304-28472015000100012](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472015000100012). Acesso em: 30 jun. 2023.

LE, T. T. *et al.* Changes of total polyphenolics and vitamin C in acerola during storage and spray drying process. **The Journal of Agriculture and Development**, [Asia], v. 17, n. 3, p. 69-76, May 2018. Disponível em: <https://jad.hcmuaf.edu.vn/index.php/jad/article/view/2>. Acesso em: 07 jul. 2023.

LEE, S. M. *et al.* Effects of Maltodextrins with Different Dextrose-equivalent Values. **Flavour and Fragrance Journal**, [England], v. 33, n. 2, p. 153-159, Mar. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ffj.3410>. Acesso em: 13 jan. 2023.

MASTERS, K. **Spray Drying in Practice**. Denmark: Spray Dry Consult, 2002. p. 1-35.

MATSUURA, F. C. A. U. *et al.* Avaliações físico-químicas em frutos de diferentes genótipos de acerola (*Malpighia punicifolia* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 602-606, dez. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/7vXqvYnd7xt3DN4jmzqMJdC/?lang=pt>. Acesso em: 03 abr. 2023.

MISKINIS, R. de A. S.; NASCIMENTO, L. Á. do; COLUSSI, R. Bioactive compounds from acerola pomace: A review. **Food Chemistry**, [England], v. 404, Mar. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814622025754>. Acesso em: 04 jul. 2023.

NEMA, P. K.; KAUR, B. P.; MUJUNDAR, A. S. **Drying Technologies for Foods**. 1st ed. India: Editora New India Publishing Agency, 2021.

NUNES, R. da S. *et al.* Antigenotoxicity and Antioxidant Activity of Acerola Fruit (*Malpighia glabra* L.) at Two Stages of Ripeness. **Plant Foods for Human Nutrition**, [Dordrecht], v. 66, n. 2, p. 129–135, June 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21503669/>. Acesso em: 04 abr. 2023.

PATIL, V.; CHAUHAN, A. K.; SINGH, R. P. Optimization of the spray drying process for developing guava powder using response surface methodology. **Powder Technology**, [Switzerland], v. 253, p. 230-236, Feb. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591013007456>. Acesso em: 20 jun. 2023.

PINO, J. A.; ARAGÜEZ-FORTES, Y.; BRINGAS-LANTIGUA, M. Optimization of spray-drying process for concentrated orange juice. **Acta Alimentaria**, [Budapest], v. 47, n. 4, p. 417–424, Mar. 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/225165401.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2023.

RAMOS, F. de M. *et al.* Assessment of differences between products obtained in conventional and vacuum Spray dryer. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 36, n. 4, p. 724–729, Oct./Dec. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/d573TqvFDtB5rLBg5D9nrQc/?lang=en>. Acesso em: 25 mar. 03 2023.

RIBEIRO, C. R. **Produção de acerola em pó: métodos de secagem e avaliação da estabilidade**. 2014. 25 p. Dissertação [Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos] - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C. da; AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of acerola powder obtained by spray-drying. **Acta Scientiarum Technology**, [Maringá], v. 41, n. 1, p. 35382–35382, May 2019. Disponível em: [https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/download/35382/pdf/&ved=2ahUKEwjJwovv\\_JuCAxVupZUC HdkSAWYQFnoECAMQAw&usg=AOvVaw3EtTGUaF5ikpPI2aAww42d](https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/download/35382/pdf/&ved=2ahUKEwjJwovv_JuCAxVupZUC HdkSAWYQFnoECAMQAw&usg=AOvVaw3EtTGUaF5ikpPI2aAww42d). Acesso em: 23 maio 2023.

RITZINGER, R. *et al.* Advances in the propagation of acerola. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 3, p. 1-12, May 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/jqZp4wHyZbn3zxDDzdP9qLr/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 20 fev. 2023.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Experimental Design and Process Optimization**. 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2014. 336 p.

SANTOS, C. P. dos *et al.* Transcriptome analysis of acerola fruit ripening: insights into ascorbate, ethylene, respiration, and softening metabolisms. **Plant Molecular Biology**, [Netherlands], v. 101, p. 269–296, Oct. 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11103-019-00903-0>. Acesso em: 15 abr. 2023.

SHAKER, A. *et al.* Food Preservation: Comprehensive overview of techniques, applications and hazards. **Egyptian Journal of Chemistry**, [s.l.], v. 65, n. 8, p. 345–353, Aug. 2022. Disponível em: [https://ejchem.journals.ekb.eg/article\\_213277.html](https://ejchem.journals.ekb.eg/article_213277.html). Acesso em: 02 mar. 2023.

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology**, [England], v. 65, p. 49-67, July 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224416306355>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SHISHIR, M. R. I. *et al.* Physical properties of spray-dried pink guava (*Psidium guajava*) powder. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, [s.l.], v. 2, p. 74-81, Nov. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210784314000126>. Acesso em: 11 jul. 2023.

SHISHIR, M. R. I. *et al.* Effect of maltodextrin concentrations at different drying temperatures on the physical and drying properties of the spray-dried pink guava powder. **Journal of Applied Science and Agriculture**, [s.l.], v. 10, n. 5, p. 176–182, Feb. 2015. Disponível em: [https://www.academia.edu/22639376/Effect\\_of\\_Maltodextrin\\_Concentrations\\_at\\_different\\_drying\\_temperatures\\_on\\_the\\_Physical\\_and\\_Drying\\_Properties\\_of\\_the\\_Spray\\_dried\\_Pink\\_Guava\\_Powder](https://www.academia.edu/22639376/Effect_of_Maltodextrin_Concentrations_at_different_drying_temperatures_on_the_Physical_and_Drying_Properties_of_the_Spray_dried_Pink_Guava_Powder). Acesso em: 11 jul. 2023.

SHISHIR, M. R. I. *et al.* Optimization of spray drying parameters for pink guava powder using RSM. **Food Science and Biotechnology**, [South Korea], v. 25, n. 2, p. 1-8, Apr. 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6049211/>. Acesso em: 13 jul. 2023.

SICCAMA J. W. *et al.* Maltodextrin improves physical properties and volatile compound retention of spray-dried asparagus concentrate. **LWT**, [England], v. 142, May 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821002115>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SIGMA-ALDRICH. **Maltodextrin**. 2023. Disponível em: <https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/product/aldrich/419699>. Acesso em: 20 jul. 2023.

SOBULSKA, M.; ZBICINSKI, I. Advances in spray drying of sugar-rich products. **Drying Technology**, [United States], v. 39, n. 12, p. 1774-1799, Jan. 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07373937.2020.1832513>. Acesso em: 08 jun. 2023.

TONON, R. V. *et al.* Physicochemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. **International Journal of Food Science & Technology**, [s.l.], v. 44, n. 10, p. 1950–1958, Oct. 2009. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2009.02012.x>. Acesso em: 28 jun. 2023.

TRUONG, V. **Glass transition temperature and spray drying of sugar-rich foods**. Germany: Lap Lambert Academic Publishing, 2014. 163 p.

VARDIN, H.; YASAR, M. Optimization of pomegranate (*Punica Granatum* L.) juice spray-drying as affected by temperature and maltodextrin content. **International Journal of Food Science & Technology**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 167-176, Jan. 2012. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2011.02823.x>. Acesso em: 21 jul. 2023.

VINCI, G. *et al.* Ascorbic acid in exotic fruits: a liquid chromatographic investigation. **Food Chemistry**, [England], v. 53, n. 2, p. 211-214, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0308814695907915>. Acesso em: 08 jun. 2023.

XU, M. *et al.* Metabolomic analysis of acerola cherry (*Malpighia emarginata*) fruit during ripening development via UPLC-Q-TOF and contribution to the antioxidant activity. **Food Research International**, [United States], v. 130, Apr. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996919308014>. Acesso em: 22 jun. 2023.

WATERHOUSE, A. L. Polyphenolics: Determination of total phenolics. *In*: WROLSTAD, R. E. (ed.). **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2002.

## APÊNDICE

### APÊNDICE A - Tabelas de ANOVA para as variáveis respostas do DCCR

#### Rendimento

Tabela 1 – ANOVA para a resposta de rendimento.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F <sub>calc</sub>	p-valor
X <sub>1</sub> (L)	47,45	1	47,45	0,54	0,4950
X <sub>1</sub> (Q)	263,69	1	263,69	3,01	0,1434
X <sub>2</sub> (L)	0,00	1	0,00	0,00	0,9995
X <sub>2</sub> (Q)	664,58	1	664,58	7,58	0,0402
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	53,88	1	53,88	0,61	0,4686
Resíduo	438,35	5	87,67		
<b>Total</b>	<b>1286,28</b>	<b>10</b>			

% de variação explicada (R<sup>2</sup>) = 65,92%    F<sub>5; 5; 0,05</sub> = 5,05

#### Compostos fenólicos

Tabela 2 – ANOVA para a resposta de compostos fenólicos.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F <sub>calc</sub>	p-valor
X <sub>1</sub> (L)	3654,10	1	3654,10	0,80	0,4126
X <sub>1</sub> (Q)	3651,09	1	3651,09	0,80	0,4128
X <sub>2</sub> (L)	809,38	1	809,38	0,18	0,6916
X <sub>2</sub> (Q)	741,29	1	741,29	0,16	0,7040
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	1643,90	1	1643,90	0,36	0,5752
Resíduo	22893,07	5	4578,61		
<b>Total</b>	<b>32749,38</b>	<b>10</b>			

% de variação explicada (R<sup>2</sup>) = 30,10%    F<sub>5; 5; 0,05</sub> = 5,05

### Ácido Ascórbico

Tabela 3 – ANOVA para a resposta de ácido ascórbico.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F <sub>calc</sub>	p-valor
X <sub>1</sub> (L)	0,47	1	0,47	0,43	0,5417
X <sub>1</sub> (Q)	0,09	1	0,09	0,08	0,7894
X <sub>2</sub> (L)	0,01	1	0,01	0,01	0,9312
X <sub>2</sub> (Q)	21,00	1	21,00	19,17	0,0072
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	0,97	1	0,97	0,89	0,3893
Resíduo	5,48	5	1,10		
<b>Total</b>	<b>30,84</b>	<b>10</b>			

% de variação explicada (R<sup>2</sup>) = 82,24% F<sub>5; 5; 0,05</sub> = 5,05

### Aw

Tabela 4 – ANOVA para a resposta de Aw.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F <sub>calc</sub>	p-valor
X <sub>1</sub> (L)	0,00	1	0,00	4,16	0,0970
X <sub>1</sub> (Q)	0,00	1	0,00	0,35	0,5812
X <sub>2</sub> (L)	0,00	1	0,00	1,24	0,3153
X <sub>2</sub> (Q)	0,00	1	0,00	3,27	0,1304
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	0,00	1	0,00	2,65	0,1642
Resíduo	0,00	5	0,00		
<b>Total</b>	<b>0,01</b>	<b>10</b>			

% de variação explicada (R<sup>2</sup>) = 69,38% F<sub>5; 5; 0,05</sub> = 5,05

### Teor de Água

Tabela 5 – ANOVA para a resposta de teor de água.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F <sub>calc</sub>	p-valor
X <sub>1</sub> (L)	1,35	1	1,35	5,11	0,0733
X <sub>1</sub> (Q)	0,58	1	0,58	2,21	0,1971
X <sub>2</sub> (L)	17,96	1	17,96	68,16	0,0004
X <sub>2</sub> (Q)	1,36	1	1,36	5,17	0,0721
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	0,20	1	0,20	0,77	0,4208
Resíduo	1,32	5	0,26		
<b>Total</b>	<b>22,38</b>	<b>10</b>			

% de variação explicada (R<sup>2</sup>) = 94,11% F<sub>5; 5; 0,05</sub> = 5,05

### Higroscopicidade

Tabela 6 – ANOVA para a resposta de higroscopicidade.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F <sub>calc</sub>	p-valor
X <sub>1</sub> (L)	2,64	1	2,64	64,64	0,0005
X <sub>1</sub> (Q)	0,84	1	0,84	20,64	0,0062
X <sub>2</sub> (L)	0,65	1	0,65	15,79	0,0106
X <sub>2</sub> (Q)	0,30	1	0,30	7,40	0,0417
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	0,12	1	0,12	2,91	0,1486
Resíduo	0,20	5	0,04		
<b>Total</b>	<b>4,54</b>	<b>10</b>			

% de variação explicada (R<sup>2</sup>) = 95,50% F<sub>5; 5; 0,05</sub> = 5,05

### Solubilidade

Tabela 7 – ANOVA para a resposta de solubilidade.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F <sub>calc</sub>	p-valor
X <sub>1</sub> (L)	3,10	1	3,10	0,13	0,7310
X <sub>1</sub> (Q)	0,51	1	0,51	0,02	0,8888
X <sub>2</sub> (L)	1,01	1	1,01	0,04	0,8434
X <sub>2</sub> (Q)	6,42	1	6,42	0,27	0,6229
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	3,48	1	3,48	0,15	0,7156
Resíduo	117,14	5	23,43		
<b>Total</b>	<b>131,16</b>	<b>10</b>			

% de variação explicada (R<sup>2</sup>) = 10,69% F<sub>5; 5; 0,05</sub> = 5,05

**Cor L**

Tabela 8 – ANOVA para a resposta de cor L.

<b>Fonte de variação</b>	<b>Soma dos quadrados</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Quadrado médio</b>	<b>F<sub>calc</sub></b>	<b>p-valor</b>
<b>X<sub>1</sub>(L)</b>	9,20	1	9,20	6,27	0,0542
<b>X<sub>1</sub>(Q)</b>	30,89	1	30,89	21,06	0,0059
<b>X<sub>2</sub>(L)</b>	0,78	1	0,78	0,53	0,4990
<b>X<sub>2</sub>(Q)</b>	18,89	1	18,89	12,87	0,0157
<b>X<sub>1</sub> X<sub>2</sub></b>	0,16	1	0,16	0,11	0,7576
<b>Resíduo</b>	7,34	5	1,47		
<b>Total</b>	56,41	10			

% de variação explicada ( $R^2$ ) = 87,00%  $F_{5; 5; 0,05} = 5,05$

**Cor C**

Tabela 9 – ANOVA para a resposta de cor C.

<b>Fonte de variação</b>	<b>Soma dos quadrados</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Quadrado médio</b>	<b>F<sub>calc</sub></b>	<b>p-valor</b>
<b>X<sub>1</sub>(L)</b>	6,15	1	6,15	4,31	0,0925
<b>X<sub>1</sub>(Q)</b>	0,56	1	0,56	0,39	0,5578
<b>X<sub>2</sub>(L)</b>	7,02	1	7,02	4,92	0,0773
<b>X<sub>2</sub>(Q)</b>	2,94	1	2,94	2,06	0,2102
<b>X<sub>1</sub> X<sub>2</sub></b>	0,05	1	0,05	0,04	0,8580
<b>Resíduo</b>	7,13	5	1,43		
<b>Total</b>	25,01	10			

% de variação explicada ( $R^2$ ) = 71,50%  $F_{5; 5; 0,05} = 5,05$

**Cor h**

Tabela 10 – ANOVA para a resposta de cor h.

<b>Fonte de variação</b>	<b>Soma dos quadrados</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Quadrado médio</b>	<b>F<sub>calc</sub></b>	<b>p-valor</b>
<b>X<sub>1</sub>(L)</b>	16,86	1	16,86	18,59	0,0076
<b>X<sub>1</sub>(Q)</b>	18,10	1	18,10	19,96	0,0066
<b>X<sub>2</sub>(L)</b>	2,74	1	2,74	3,03	0,1424
<b>X<sub>2</sub>(Q)</b>	25,87	1	25,87	28,53	0,0031
<b>X<sub>1</sub> X<sub>2</sub></b>	0,37	1	0,37	0,41	0,5500
<b>Resíduo</b>	4,53	5	0,91		
<b>Total</b>	58,72	10			

% de variação explicada ( $R^2$ ) = 92,28%  $F_{5; 5; 0,05} = 5,05$