



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Gabrielly da Silva Mendes

**Estudo do efeito de dois métodos de secagem de folha de Graviola (*Annona muricata* L.)
nas propriedades físico-químicas do pó**

Florianópolis

2024

Gabrielly da Silva Mendes

**Estudo do efeito de dois métodos de secagem de folha de Graviola (*Annona muricata* L.)
nas propriedades físico-químicas do pó**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Giustino Tribuzi

Florianópolis

2024

Ficha de identificação da obra

Mendes, Gabrielly da Silva

Estudo do efeito de diferentes métodos de secagem de folha de Graviola (*Annona muricata* L.) nas propriedades físico-químicas do pó / Gabrielly da Silva Mendes ; orientador, Giustino Tribuzi, 2024.
52 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2. Graviola . 3. processos de secagem. 4. micro-ondas a vácuo. 5. secagem convectiva. I. Tribuzi, Giustino . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

Gabrielly da Silva Mendes

Estudo do efeito de diferentes métodos de secagem de folha de Graviola (*Annona muricata* L.) nas propriedades físico-químicas do pó

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Florianópolis, 20 de junho de 2024.

Prof.^a Ana Carolina de Oliveira Costa, Dra.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Giustino Tribuzi, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Pedro Luiz Manique Barreto, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Kátia Rezzadori, Dra.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus amados pais e aos meus queridos irmãos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por Sua presença constante em minha vida, por me guiar e me fortalecer ao longo desta jornada acadêmica. Sua sabedoria e graça foram essenciais para que eu pudesse superar os desafios e alcançar meus objetivos.

Aos meus pais, Alcionei e Michelle, expresso minha profunda gratidão por todo o amor, apoio incondicional e dedicação ao longo de minha vida. Vocês foram meus pilares, sempre me incentivando a buscar o melhor em tudo o que faço. Sou grata por ter pais tão maravilhosos.

Aos meus irmãos, Lorrany e Kauã, agradeço por estarem sempre ao meu lado, apoiando-me em todas as etapas deste percurso acadêmico. Sua presença e encorajamento foram um grande estímulo para mim.

Ao meu orientador, Giustino Tribuzi, expresso minha profunda gratidão por sua orientação, conhecimento e apoio ao longo deste trabalho. Suas orientações e sugestões foram essenciais para o desenvolvimento deste projeto. Agradeço por sua paciência e dedicação em me auxiliar em cada etapa.

Aos meus amigos, Francisco, Marcela e Alice e Luan, agradeço por sua amizade, companheirismo e apoio. Suas palavras de incentivo e suporte emocional foram um grande estímulo para mim. Sou grata por ter amigos tão maravilhosos em minha vida.

Aos amigos do Laboratório de Pescados, Gabriela, Fabielle e Sebastião, expresso minha gratidão pelos conselhos, conversas e companhia durante o tempo que passamos juntos no laboratório.

Agradeço a todos os colaboradores do PROFI, em especial à Dra. Aline Iamin Gomide, ao Dr. Ricardo Lemos Monteiro, à Dra. Raquel da Silva Simão, a Amanda Galvão Maciel e ao Gabriel Coelho Leandro, por toda a ajuda fornecida e apoio ao longo deste trabalho. A contribuição de todos foi fundamental para a execução e o sucesso deste projeto.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à Juliana Pimentel, cuja amizade foi um presente inestimável proporcionado pela Givaudan. Sua constante motivação e apoio, principalmente na etapa de finalização do trabalho foram fundamentais.

Expresso minha gratidão à Universidade Federal de Santa Catarina e ao LabCal – NuFIQ, pelo ambiente acadêmico propício à pesquisa e aprendizado, principalmente a Juscielle Nicoladelli, pelos ensinamentos e paciência. Agradeço por fornecerem os recursos e a infraestrutura necessários para a realização deste trabalho.

Agradeço ao Horto Didático – CCS UFSC por fornecer as primeiras amostras para testes, sendo essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua contribuição foi fundamental para o avanço da minha pesquisa.

Por fim, agradeço a Seu Erasmo por indicar a árvore de Graviola, que possibilitou o acesso a toda a fonte de amostras deste trabalho. Sua colaboração foi de grande importância para o desenvolvimento desta pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos a todos que fizeram parte desta jornada e contribuíram para o meu crescimento e sucesso acadêmico. Sou profundamente grata a cada um de vocês.

Bem-aventurado o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire
entendimento. (Provérbio 16:16)

RESUMO

O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores de graviola (*Annona muricata*) do mundo. A graviola é uma fruta rica em compostos bioativos, como compostos fenólicos, acetogeninas, alcaloides, antioxidantes e antifúngicos. Visando aproveitar os subprodutos gerados pela fruticultura, o beneficiamento das folhas de gravioleira é uma alternativa a ser explorada para o desenvolvimento sustentável do setor. Portanto, este trabalho teve como objetivo estudar os efeitos de diferentes métodos de secagem das folhas de graviola nas propriedades físico-químicas do pó. Nesse estudo, utilizou-se um secador de micro-ondas a vácuo (MWVD) e uma estufa de secagem por convecção (CD). Para controlar o processo, foram realizadas curvas de evolução temporal da umidade e da atividade de água durante a secagem. Isso permitiu determinar o tempo necessário para completar a desidratação do material. Os pós obtidos foram analisados quanto à solubilidade, tempo de dispersão, densidade aparente, higroscopicidade e cor. Com as cinéticas de secagem, foi possível determinar os tempos necessários para completar a desidratação, 9 minutos para a secagem por MWVD e 230 minutos para a secagem por CD. Os produtos atingiram uma umidade próxima de $0,02 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ e a atividade de água (a_w) variou entre 0,19-0,20. A análise de solubilidade revelou que as amostras são pouco solúveis, devido ao alto teor de fibras das folhas, não havendo grande diferença entre os tratamentos, resultando em $29,57 \pm 0,72\%$ para secagem por micro-ondas e $29,21 \pm 0,19\%$ para secagem por convecção. Em relação à higroscopicidade, as amostras podem ser classificadas como não higroscópica e ligeiramente higroscópica, uma vez que foi obtido $9,70 \pm 0,20\%$ e $10,62 \pm 0,30\%$ para secagem por CD e MWVD, respectivamente. Os diferentes métodos aplicados influenciaram na cor dos pós, apresentando diferença significativa em relação aos parâmetros a^* e b^* , destacando-se a amostra seca por convecção, que apresentou menor delta E, indicando maior proximidade com a folha *in natura*. Dessa forma, é possível concluir que os diferentes métodos de secagem são eficientes, gerando produtos promissores para a indústria de alimentos, principalmente visando o reaproveitamento de subprodutos com destaque ao curto tempo de secagem das folhas por MWVD.

Palavras-chave: graviola; processos de secagem; micro-ondas a vácuo; secagem convectiva; propriedades físico-químicas.

ABSTRACT

Brazil is one of the largest producers of graviola (*Annona muricata*) in the world. Soursop is a fruit rich in bioactive compounds such as phenolic compounds, acetogenins, alkaloids, antioxidants and antifungals. In order to take advantage of the by-products generated by fruit growing, the processing of soursop leaves is an alternative to be explored for the sustainable development of the sector. The aim of this work was therefore to study the effects of different methods of drying soursop leaves on the physical and chemical properties of the powder. In this study, a microwave vacuum dryer (MWVD) and a convection drying oven (CD) were used. In order to control the process, time evolution curves of humidity and water activity were made during drying. This made it possible to determine the time needed to complete the dehydration of the material. The powders obtained were analyzed for solubility, dispersion time, apparent density, hygroscopicity and color. Using the drying kinetics, it was possible to determine the times required to complete dehydration, 9 minutes for MWVD drying and 230 minutes for CD drying. The products reached a moisture content of around $0.02 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ and the water activity (a_w) varied between 0.19-0.20. The solubility analysis revealed that the samples were not very soluble, due to the high fiber content of the leaves. There was no great difference between the treatments, resulting in $29.57 \pm 0.72\%$ for microwave drying and $29.21 \pm 0.19\%$ for convection drying. With regard to hygroscopicity, the samples can be classified as non-hygroscopic and slightly hygroscopic, since $9.70 \pm 0.20\%$ and $10.62 \pm 0.30\%$ were obtained for CD and MWVD drying, respectively. The different methods used influenced the color of the powders, showing significant differences in terms of the a^* and b^* parameters, with the convection-dried sample standing out as having the lowest ΔE , indicating greater proximity to the fresh leaf. It is therefore possible to conclude that the different drying methods are efficient, generating promising products for the food industry, especially with a view to reusing by-products, especially the short drying time of the leaves by MWVD.

Keywords: soursop; drying processes; vacuum microwave; convective drying; physicochemical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Árvore de <i>A. muricata</i> L. (A), folha de <i>A. muricata</i> - frente (B), folha de <i>A. muricata</i> – verso (C)	19
Figura 2 – Mapa do valor de produção de graviola no Brasil (em mil reais).	20
Figura 3 – Estrutura geral das moléculas de Acetogeninas (ACG's).....	22
Figura 4 – Influência da atividade de água na estabilidade dos alimentos.....	25
Figura 5 – Curva de secagem típica para processo realizado com ar quente.	25
Figura 6 – Procedimento experimental	28
Figura 7 – Representação do dispositivo experimental - MWVD.	30
Figura 8 – Representação do equipamento experimental – CD.....	31
Figura 9 - Esquema do dispositivo utilizado para o teste de solubilidade.....	33
Figura 10 – Aparato para medição de tempo de dispersão.....	33
Figura 11 – Coordenadas colorimétricas, sistema CIELab.	35
Figura 12 – a) Cinética de secagem MWVD (Umidade x Tempo); b) cinética de a_w (a_w x Tempo); c) evolução temporal de temperatura (Temperatura x Tempo).	37
Figura 13 – a) Cinética de secagem CD (Umidade x Tempo); b) cinética de temperatura.	39
Figura 14 – Imagens das folhas de <i>Annona muricata</i> durante a secagem por MWVD	41
Figura 15 – Imagens da folha de graviola em pó e microscopia eletrônica de varredura, obtidos por secagem MWVD e CD.	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Revisão sobre os estudos dos compostos e atividades bioativas da folha de graviola.	23
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de umidade e a_w da folha in natura e dos pós obtidos por secagem MWVD e CD.....	36
Tabela 2 – Resultados de proteína bruta, lipídios e cinzas para os pós obtidos pela secagem de folha de gravioleira.	40
Tabela 3 – Parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) e evolução da cor total (ΔE) da folha in natura e dos pós de folha de graviola obtidos por MWVD e CD.....	41
Tabela 4 – Valores encontrados para análise de solubilidade, tempo de dispersão, densidade aparente e higroscopicidade para os pós de folha de graviola secos por micro-ondas a vácuo e convecção.....	43

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
2.	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo Geral	18
2.2	Objetivos Específicos.....	18
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	Aspectos botânicos – família Annonaceae.....	19
3.2	Compostos bioativos da <i>Annona muricata</i> L.	21
3.3	Toxicologia.....	24
3.4	Secagem de alimentos.....	24
3.4.1	Secagem por micro-ondas a vácuo – MWVD	26
3.4.2	Secagem por convecção - CD.....	27
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1	Procedimento experimental.....	28
4.2	Seleção e preparo da matéria-prima	28
4.3	Secagem das amostras.....	29
4.3.1	Secagem por micro-ondas a vácuo (MWVD).....	29
4.3.2	Secagem por convecção (CD)	30
4.4	Obtenção dos pós.....	31
4.5	Caracterização Centesimal	31
4.5.1	Umidade	31
4.5.2	Resíduo Mineral Fixo	31
4.5.3	Extrato etéreo.....	32
4.5.4	Proteína	32
4.6	Caracterização Física do pó.....	32
4.6.1	Solubilidade.....	32
4.6.2	Tempo de dispersão	33

4.6.3	Densidade aparente.....	34
4.6.4	Higroscopicidade.....	34
4.6.5	a_w	34
4.6.6	Cor.....	34
4.6.7	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	35
4.6.8	Análise estatística.....	35
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1	Secagem	36
5.2	Umidade de equilíbrio.....	36
5.2.1	Cinética de secagem MWVD	37
5.2.2	Cinética de secagem CD.....	38
5.3	Caracterização físico-química dos pós.....	39
5.3.1	Caracterização centesimal.....	40
5.3.2	Colorimetria.....	41
5.3.3	Caracterização física.....	42
5.3.4	Microscopia eletrônica de varredura	44
6.	CONCLUSÃO.....	46
7.	REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores de Graviola (*Annona muricata*) do mundo, sendo a região nordeste referência em produtividade, devido principalmente às condições climáticas e áreas que permitem a produção de frutas de alta qualidade (São José *et al.*, 2014). Visando o reaproveitamento de subprodutos gerados pela fruticultura, o beneficiamento das folhas da gravioleira traz diversas vantagens para a economia do país. Nos últimos anos vem crescendo a demanda por alimentos que, além de nutrir, possam oferecer benefícios para a saúde. Nesse sentido, estudos a respeito das vantagens do consumo de folhas de *Annona muricata* têm crescido.

A secagem de alimentos é uma das alternativas mais usadas para aumentar o tempo de vida útil pós-colheita e reaproveitamento. O principal objetivo da secagem é reduzir o teor de umidade dos alimentos, ao ponto de minimizar o crescimento microbiano, reações enzimáticas e oxidativas, permitindo assim, um maior tempo de armazenamento (Fellows, 2006).

A secagem convectiva é uma importante operação unitária e aplicada por diversas indústrias, sendo a técnica de secagem mais popular. Com esta técnica de desidratação é possível ter a combinação de uma secagem a baixas temperaturas, mantendo assim as características dos compostos bioativos do alimento, ou seja, qualidade estável do produto além de baixa poluição ambiental (Junqueira *et al.*, 2017; Purlis, 2019).

De forma alternativa à secagem convectiva, desenvolveu-se secagem por Micro-ondas a vácuo (MWVD), onde o tempo total de processo é mais rápido. Uma vez que a energia micro-ondas combinada com o vácuo é responsável por uma alta eficiência de secagem, representando uma abordagem promissora e inovadora na indústria de alimentos, oferecendo alta qualidade dos produtos alimentares, preservando assim, os aspectos nutricional e sensorial (Monteiro, 2018).

Os compostos antioxidantes são conhecidamente benéficos para a saúde, quando ingeridos em quantidades suficientes para sua ação. Atuam combatendo a ação de radicais livres no organismo, que acarretam estresse oxidativo e causa danos às células do organismo humano, por isso, se torna-se necessária a investigação de novas fontes destes compostos. Além disso, os antioxidantes têm papel fundamental na manutenção do sistema imunológico, agindo na redução de inflamação. Por isso as folhas de graviola têm ganhado destaque nos últimos anos, por seus aspectos nutricionais positivos à saúde, especialmente devido aos compostos bioativos.

As folhas de *Annona muricata* L. possuem ação contra células cancerígenas, por apoptose, devido à presença de substâncias denominadas acetogeninas (ACG's) (Jacobo-Herrera, 2019). As ACG's são componentes formados pelo metabolismo secundário da planta, derivados de ácidos graxos de cadeia longa (C35-C39), sendo encontrados somente na família Annonaceae e demonstram propriedades citotóxicas seletiva, implicando em efeitos antiproliferativo e antitumorais (Pinto, 2015; Lima *et al.*, 2022).

Por ser uma fonte de compostos bioativos de interesse e para que eles possam ser mantidos, é necessário fazer o controle dos parâmetros de secagem. Dessa forma, torna-se relevante determinar a melhor condição de secagem e avaliar a influência dos diferentes processos nas propriedades físico-químicas dos pós de folhas de gravioleira desidratadas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar os efeitos de dois métodos de secagem de folha de Graviola (*Annona muricata* L.) nas propriedades físico-químicas do pó.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar as cinéticas de secagem das folhas de graviola;
- Avaliar os efeitos da secagem por micro-ondas a vácuo e secagem convectiva na composição centesimal dos pós;
- Analisar as propriedades físicas do pó da folha de graviola, ou seja, solubilidade, tempo de dispersão, densidade aparente, higroscopicidade, cor e microestrutura.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ASPECTOS BOTÂNICOS – FAMÍLIA ANNONACEAE

A família Annonaceae é originária de regiões tropicais, possui mais de 2.000 espécies de plantas e cerca de 119 gêneros. O gênero *Annona* possui 13 espécies que produzem frutos comestíveis, no Brasil, três se destacam, por possuir maior produção e com importância econômica, Graviola (*Annona muricata*), Pinha (*Annona squamosa*) e Atemoia (*Annona atemoya*) (São José *et al.*, 2014; Amâncio *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2022).

Particularmente, a *Annona muricata* é uma árvore perene, com origem na América Central, variando em altura de 3 a 8 m que produz um fruto comestível denominada Graviola ou Guanabana (Cárdenas *et al.*, 2021; Lima *et al.* 2022).

Figura 1– Árvore de *A. muricata* L. (A), folha de *A. muricata* - frente (B), folha de *A. muricata* – verso (C)



Fonte: A autora (2024).

A graviola é uma fruta climatérica, apresentando curto prazo de vida pós-colheita, e é geralmente consumida *in natura* (Berumen-Varela; Hernández-Oñate e Tiznado-Hernández, 2019). Suas características incluem sabor agradável, frutos aromáticos, doces e levemente ácidos com ampla aceitação por parte dos consumidores (CEAGESP, 2013). Devido a isso, a graviola possui grande aptidão para ser processada industrialmente, principalmente a polpa, mas também, as cascas dos frutos, as sementes e as folhas apresentam grande potencial, devido sua rica composição, como fonte de nutrientes e antioxidantes (Silva, 2016).

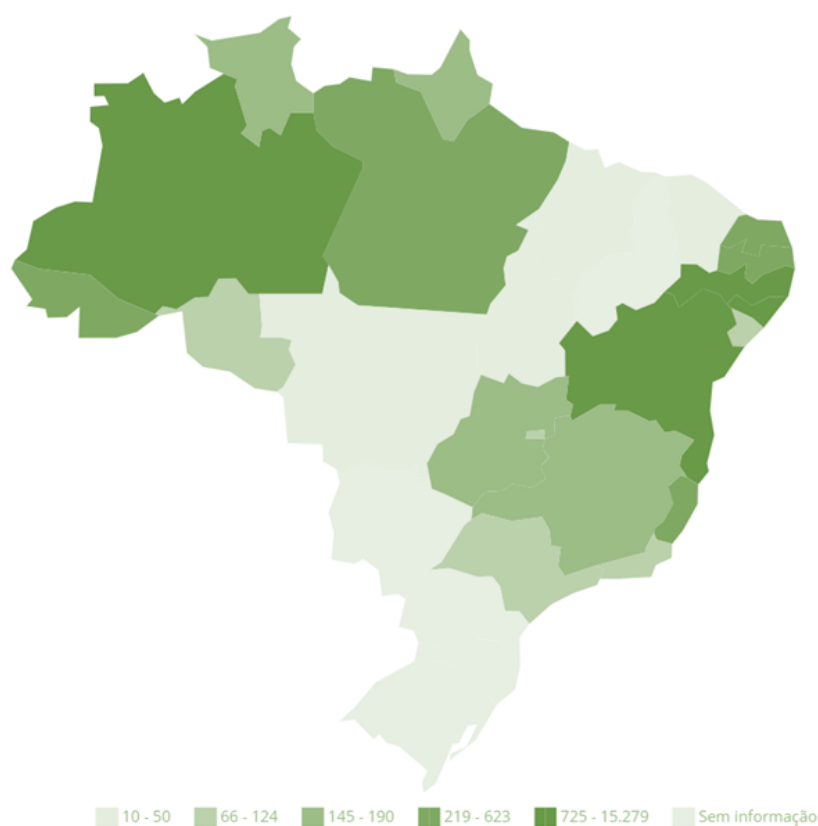
As folhas de graviola são amplamente utilizadas na medicina tradicional por comunidades indígenas na África e América do Sul (Moghadamtousi *et al.*, 2015), e por isso a medicina não ocidental difundiu o uso da infusão de partes da planta selecionadas, usando para

o tratamento de diversas patologias (Lima *et al.*, 2022). As folhas são inteiras, de formato oval ou oblongas, de pecíolos curtos, com nervuras pouco visíveis, apresentando tonalidade verde-escura e brilhante na face adaxial (superior) e verde amarelada na face abaxial (inferior), medindo entre 5 e 18 cm de comprimento por 2 a 7 cm de largura, quando adultas (Manica, 1994).

Segundo o censo agropecuário de 2017 (IBGE) a produção de graviola, no Brasil, acontece em 90% no Nordeste, principalmente nos estados da Bahia, Pernambuco e Alagoas. As anonáceas são consideradas de fácil adaptabilidade e comportam-se bem em clima quente e úmido, apresentando bons índices de produtividade (São José *et al.*, 2014).

Em novembro de 2023, a média de preços do fruto, ficou em torno de 8 reais por quilo em São Paulo e na Bahia, de acordo com dados da Ceagesp e da Ceasa-BA.

Figura 2 – Mapa do valor de produção de graviola no Brasil (em mil reais).



Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

Pensando em disponibilidade de insumos, para se produzir produtos que contenham propriedades funcionais, as folhas são uma melhor opção de escolha de matéria-prima, já que são mais abundantes e disponíveis (Liu *et al.*, 2016).

3.2 COMPOSTOS BIOATIVOS DA *ANNONA MURICATA* L.

Boa parte da população tem buscado por alimentos funcionais que, por definição da Anvisa (2002), são aqueles que contêm um ou mais componentes que exercem efeitos benéficos à saúde, chamados de substâncias bioativas. Essas substâncias presentes nos alimentos possuem ação metabólica ou fisiológica específica no organismo humano, ou seja, possuem um potencial papel de auxiliar na redução do risco de doenças crônicas. Por isso, as folhas de graviola têm ganhado destaque nos últimos anos, por seus aspectos nutricionais positivos à saúde, especialmente devido aos compostos bioativos (Moghadamtousi *et al.*, 2015).

Por apresentarem alta atividade biológica, derivadas de seu metabolismo secundário, as folhas de *A. muricata*, bem como, outras partes da planta, apresentam propriedades gastroprotetoras, antioxidante, anticancerígena, anti-inflamatória, hipoglicemiante e anti-diabética (Pinto, 2015; Moraes, 2016).

Os compostos bioativos, presentes nas espécies de *Annona*, são: compostos fenólicos, acetogeninas, alcaloides, antioxidantes e antifúngicos (Leite *et al.*, 2020).

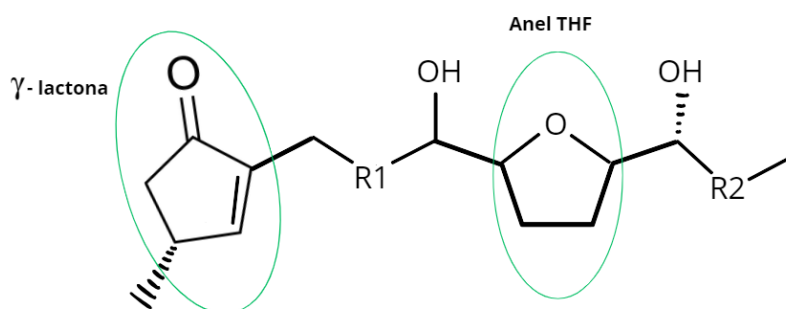
No Quadro 1 são apresentados diversos trabalhos encontrados na literatura sobre a matéria analisada, bem como resumos dos estudos realizados e os principais resultados encontrados. É possível observar que grande parte dos trabalhos são voltados para o estudo do extrato etanólico das folhas da gravioleira, com foco principal nas propriedades bioativas da planta, apresentando resultados muito satisfatórios e promissores para esta matéria.

As folhas de *Annona muricata* L. possuem ação contra células cancerígenas, por apoptose, devido à presença de substâncias denominadas acetogeninas (ACG's) (Jacobó-Herrera, 2019). As ACG's são componentes formados pelo metabolismo secundário da planta, derivados de ácidos graxos de cadeia longa (C35-C39), sendo encontrados somente na família Annonaceae e demonstram propriedades citotóxicas seletiva, implicando em efeitos antiproliferativo e antitumorais (Pinto, 2015; Lima *et al.*, 2022).

As moléculas de ACG's possuem uma cadeia alifática com um ou dois anéis de tetrahydrofurano (THF) e uma butirólactona ou γ -lactona terminal, como representado pela Figura 3. O mecanismo de ação das ACG's está relacionado com sua potente bioatividade, ou seja, agem através da diminuição dos níveis de ATP, por meio da inibição do complexo I das

mitocôndrias e da inibição da NADH oxidase, peculiares às membranas plasmáticas das células tumorais. Muito embora a maioria das acetogeninas tenham grande potencial para variadas linhagens celulares tumorais humanas, algumas variações estruturais e alguns isômeros posicionais demonstram uma maior seletividade entre várias linhas celulares diferentes (Chih-Chuang *et al.*, 2010; Montalvo-González *et al.*, 2024).

Figura 3 – Estrutura geral das moléculas de Acetogeninas (ACG's).



Fonte: Calle *et al.* (2018).

Segundo Liu *et al.* (2016) seus estudos indicam que o extrato etanólico das folhas de *A. muricata* causa a apoptose de células de câncer hepático, portanto recomenda-se o uso etnomedicinal dessa planta para uso como terapia alternativa ou complementar para câncer.

Quilez *et al.* (2018), em sua revisão sobre às potenciais aplicações terapêuticas do gênero *Annona*, relatam ter encontrado estudos com extensa investigação diante da potente atividade antitumoral, dentre as quais se destacam 4 espécies por sua importância farmacológica: *A. muricata*, *A. squamosa*, *A. senegalensis* e *A. cherimol*. Considerando a relevância das acetogeninas, estudos recentes visam fazer o isolamento destes compostos, com o intuito de avaliar suas propriedades anticâncer, dessa forma já foram isolados mais de 100 destes compostos, da casca, fruta, folhas, sementes e raízes (Moghadamtousi *et al.*, 2015).

As ACG's são estáveis a altas temperaturas. Foi demonstrado que os ACG's extraídas com termossônica de sementes de *A. muricata* eram estáveis até 50-60°C (López-Ramero *et al.*, 2022). Sendo assim, a secagem das folhas das anonáceas, a temperaturas controladas, é uma excelente alternativa para aproveitamento de resíduo e geração de um produto com valor agregado.

Quadro 1 – Revisão sobre os estudos dos compostos e atividades bioativas da folha de graviola.

Estudo realizado	Matéria analisada	Resultados	Referência
Efeitos do extrato aquoso da folha da graviola (<i>Annona muricata</i> Linn) em modelo experimental de obesidade	Extrato aquoso da folha	No modelo estudado o extrato aquoso da folha de Graviola foi eficaz no combate da obesidade e suas alterações metabólicas.	Sasso, 2017.
Folhas de graviola (<i>Annona muricata</i> L.) atividade anticancerígena de fungos endofíticos contra células HeLa	Extrato das folhas de <i>A. muricata</i>	Os extratos dos fungos endofíticos das folhas da gravioleira mostraram citotoxicidade contra as células do cancro do colo do útero, inibindo a multiplicação das células cancerosas HeLa in vitro.	Hasan <i>et al.</i> , 2022.
Atividade antiparasitária do extrato etanólico de folhas de <i>Annona muricata</i> L. e suas frações contra <i>Toxoplasma gondii</i> in vitro e in vivo	Extrato etanólico da folha de <i>Annona muricata</i> L.	Em geral, os dados aqui apresentados mostram que o extrato etanólico da folha de <i>A. muricata</i> (EtOHAm) e as suas frações HexAm, CHAm e EtOAcAm apresentam ação anti- <i>Toxoplasma</i> in vitro	Miranda <i>et al.</i> , 2021
<i>Annona muricata</i> Linn. folha como fonte de compostos antioxidantes com potencial antidiabético e inibitório in vitro contra α -amilase, α -glicosidase, lipase, glicação não enzimática e peroxidação lipídica	Extrato etanólico da folha de <i>A. muricata</i>	Várias biomoléculas conhecidas como potentes antioxidantes foram identificadas nestas frações, tais como os ácidos clorogénico e cafeico, procianidinas B2 e C1, (epi)catequina, quercetina, quercetina-hexósidos e kaempferol, sendo utilização da folha de <i>A. muricata</i> , especialmente as suas frações enriquecidas com polifenóis, para o tratamento da diabetes mellitus e suas complicações.	Justino <i>et al.</i> , 2018.
A análise proteômica funcional revela que o extrato etanólico de <i>Annona muricata</i> L. induz a apoptose de células cancerosas do fígado através da via de estresse do retículo endoplasmático	Extrato etanólico da folha de <i>A. muricata</i>	Os resultados indicam que o extrato de ervas desencadeia a apoptose das células cancerosas através da via do através da via do stress. Os dados obtidos apoiam a utilização de extractos de folhas de <i>Annona muricata</i> L. como etnomedicina para o tratamento do cancro.	Liu <i>et al.</i> , 2016.
O extrato antimicrobiano de <i>Annona muricata</i> L. (graviola) tem como alvo as membranas celulares de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas	Extrato metanólico das folhas de <i>A. muricata</i>	<i>A. muricata</i> apresenta um notável potencial fitomedicinal, além de ser comumente utilizada como alimento.	Pinto <i>et al.</i> , 2017.
Nanofibras compostas de extrato de folhas de graviola/álcool polivinílico sintetizadas usando técnica de eletrofiliação e seu potencial como curativo antibacteriano para feridas	Extrato etanólico da folha de <i>A. muricata</i>	Conclusivamente possui a presença de grupos alcalóides e flavonóides na membrana, além de demonstrar atividade antibacteriana da fibra composta PVA/SLE contra <i>S. aureus</i> .	Aruan <i>et al.</i> , 2017.
Citotoxicidade, atividades antitumorais e antioxidantes de <i>Annona muricata</i> in vitro	Extratos de folhas de <i>Annona muricata</i> em hexano, diclorometano, metanol, etanol e solução aquosa, bem como seu extrato aquoso de frutas	O presente estudo demonstrou a citotoxicidade, atividades antitumorais e antioxidantes dos extratos de <i>Annona muricata</i> . Os resultados atuais reforçam assim a evidência científica do potencial antitumoral desta planta utilizada na medicina tradicional.	Roduan <i>et al.</i> , 2019.
O efeito protetor do extrato etanólico da folha de <i>Annona muricata</i> contra a toxicidade da doxorubicina via modulações de enzimas hematológicas, bioquímicas séricas, antioxidantes e peroxidação lipídica	Extrato etanólico da folha de <i>A. muricata</i>	Este estudo revelou um forte potencial antioxidante in vitro das frações de folhas de <i>A. muricata</i> . e efeito protetor do extrato de folhas foi provocado pela inibição do stress oxidativo induzido pela Doxorubicina.	Badmus <i>et al.</i> , 2022.
Análise por GC-MS dos constituintes fitoquímicos da fração metanólica da folha de <i>Annona muricata</i> e sua inibição contra duas enzimas-chave ligadas ao diabetes tipo II	Extrato metanólico das folhas de <i>A. muricata</i>	Neste estudo, o extrato metanólico das folhas de <i>A. muricata</i> demonstrou atividades relativamente fortes de eliminação de radicais livres, o que pode ser a base para a sua inibição das atividades da α -amilase e da α -glicosidase in vitro.	Olashinde <i>et al.</i> , 2022.
Composição mineral e redistribuição de nutrientes em gravioleira	Folha de <i>A. muricata</i>	Os maiores teores dos nutrientes N, P, K, Mg e Cu são acumulados nas folhas jovens, e os maiores de Ca, S, B, Fe, Mn e Zn nas folhas decíduas.	Marques <i>et al.</i> , 2018.
Estudos antioxidantes in vitro em folhas de espécies de <i>Annona</i>	Extrato etanólico da folha de <i>A. muricata</i>	Os extractos de <i>A. muricata</i> apresentam uma atividade antioxidante in vitro potente, o que sugere o seu papel como um eficaz eliminador de radicais livres, aumentando o seu valor terapêutico.	Baskar <i>et al.</i> , 2006.

Fonte: A autora (2024).

3.3 TOXICOLOGIA

O consumo em excesso de quaisquer substâncias pode gerar potenciais efeitos tóxicos, não diferente para as acetogeninas, que são associadas a indução de neurodegeneração. Sendo relatadas como possíveis agentes neurotóxicos, principalmente quando consumidas na forma de suplemento dietético (Höllerhage *et al.*, 2015). Lannuzel *et al.*, (2007) relatou que uma parcela de pessoas que consumiam produtos anonáceos, pertence ao grupo de pacientes que correm o risco de desenvolver uma doença neurodegenerativa, chamada de parkinsonismo atípico.

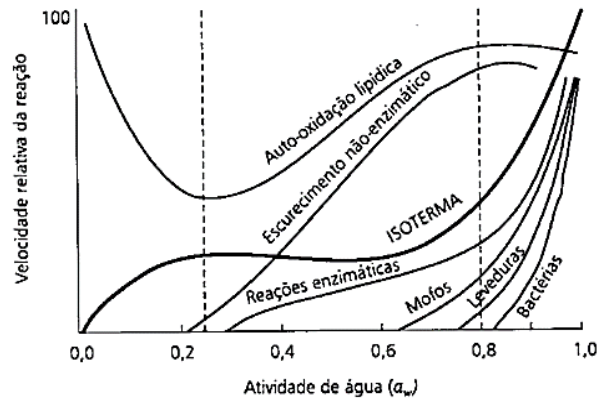
Segundo Lima (2022) é imprescindível manter moderação no consumo de infusões, extratos e polpas de frutos de anonáceas, já que o consumo crônico de acetogeninas corroboram para danos neurais. Indo ao encontro do estudo de Höllerhage *et al.* (2015) e Moraes *et al.* (2016) concluem que a potencial neurotoxicidade das folhas de anonáceas são maiores para suplementos dietéticos, de folhas inteiras, do que um chá feito a partir delas.

3.4 SECAGEM DE ALIMENTOS

A secagem de alimentos é definida como a aplicação de calor com o intuito de remover a umidade presente em uma matéria-prima, através da evaporação ou sublimação da água, sendo o método mais utilizado para a conservação de alimentos (Fellows, 2009). Inibindo assim, o crescimento microbiano e a atividade enzimática, prolongando o tempo de vida útil do produto, como demonstrado na Figura 4, através do diagrama de Labuza (1975), onde ilustra a influência da atividade de água e a velocidade das reações, na estabilidade dos alimentos.

A secagem deve ocorrer sob condições controladas, com o objetivo de manter as características físico-químicas e sensoriais, bem como as propriedades funcionais (Fellows, 2000). Além da função de preservação, a secagem torna os alimentos mais fáceis de embalar, manusear e transportar (Zahoor *et al.*, 2023).

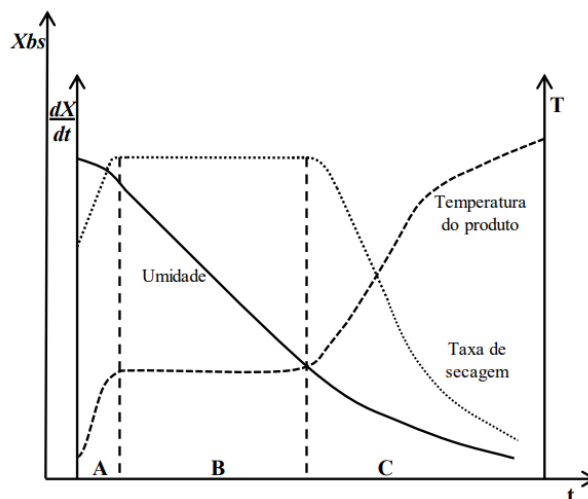
Figura 4 – Influência da atividade de água na estabilidade dos alimentos



Fonte: Labuza, 1975.

O processo de secagem de alimentos pode ser representado mediante uma cinética de secagem, ou seja, o teor de umidade da amostra em função do tempo, o que leva às curvas típicas, representadas pela Figura 5 (Ratti, 2009). Na cinética, estão sendo exibidas a evolução temporal de umidade em base seca (X_{bs}), taxa de secagem (dX/dt), bem como a temperatura (T) do produto. De forma geral, processo de secagem de materiais com alto teor de umidade é dividida em três períodos bem definidos, representados pelas áreas A, B e C, conforme ocorre a transferência de calor e massa ao longo do processo (Gomide, 2021).

Figura 5 – Curva de secagem típica para processo realizado com ar quente.



Fonte: adaptado de Park *et al.* (2007).

A redução de umidade no produto envolve 3 períodos característicos, pela transferência de calor e massa, onde o sistema de transporte do líquido e vapor no interior do material depende da sua estrutura e do teor de umidade presente (Fellows, 2006). O primeiro

período (A), chamada de fase de adequação, onde a temperatura do produto é inferior a temperatura do ar de secagem, o que pode levar a um aumento da taxa de evaporação com o aumento da temperatura. O segundo período (B) é a secagem à taxa constante, sendo assim a evaporação ocorre na superfície externa do material para a remoção da umidade não ligada (água livre) da superfície da folha, ou seja, a temperatura da superfície alcança a temperatura de bulbo úmido do ar de secagem (Geankoplis, 1993).

Ao final da cinética de secagem, tem-se o terceiro período (C), caracterizado pela secagem à taxa decrescente. Nesse ponto, a superfície do material já contém um teor de umidade significativamente baixo, e à medida que essa umidade migra do interior do material, a velocidade de secagem é predominantemente controlada pelo deslocamento da umidade do interior para a superfície do material (Fellows, 2000; Geankoplis, 1993). A umidade mínima alcançada representa o equilíbrio entre o material e o ar de secagem, indicando o término do processo, conforme o estágio avança, observa-se uma redução na taxa de secagem, apontando a umidade crítica do sistema (X_c) (Geankoplis, 1993).

As indústrias estão em busca de alternativas para este processo, que sejam eficientes rentáveis e ofereçam um bom custo-benefício. Nesse contexto, a secagem convectiva é a mais utilizada pela indústria de alimentos, porém busca-se novas tecnologias que possam atender às mesmas demandas ou que superem esta tecnologia, sendo assim, processos inovadores mais recentes, como o micro-ondas a vácuo foram desenvolvidos (Monteiro *et al.*, 2018). Os critérios que determinam a escolha do secador a ser utilizado incluem a natureza do produto, as condições de operação e os fatores econômicos (Chua e Chou, 2003).

3.4.1 Secagem por micro-ondas a vácuo – MWVD

A secagem de alimentos é uma alternativa para aumentar o tempo de vida útil dos produtos. Nesse contexto, desenvolveu-se a secagem por Micro-ondas a vácuo (MWVD), onde aliam-se os benefícios de uma secagem com controle de potência e tempo, uma vez que, a rápida remoção da umidade contribui para a redução do tempo de processamento, aumentando a produtividade e a eficiência global do processo de produção de alimentos, resultando em produtos de alta qualidade nutricional (Júnior, 2021).

As micro-ondas são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre 1 mm e 1 m, geradas por um dispositivo conhecido como magnetron, que converte energia elétrica de frequência industrial em energia eletromagnética de micro-ondas (Lopes, 2016; Richards *et al.*,

2020). O processo de secagem por micro-ondas ocorre quando essas ondas são absorvidas pelo alimento, resultando em um aquecimento volumétrico e seletivo. Quando combinado com o vácuo, o vapor d'água gerado dentro do alimento cria um gradiente de pressão, induzindo ao efeito de expansão conhecido como "*puffing effect*". Esse efeito é resultado da variação causada pelo fluxo do vapor produzido e da água em estado líquido presente nos poros da matriz do alimento (Monteiro *et al.*, 2018; Richards *et al.*, 2020; Júnior, 2021).

A energia micro-ondas combinada com o vácuo é responsável por uma alta eficiência de secagem, representando uma abordagem promissora e inovadora na indústria de alimentos, oferecendo alta qualidade dos produtos alimentares, preservando assim, os aspectos nutricional e sensorial.

3.4.2 Secagem por convecção - CD

A secagem convectiva é uma importante operação unitária e aplicada por diversas indústrias, sendo a técnica de secagem mais popular. Com esta técnica de desidratação é possível ter a combinação de uma secagem a baixas temperaturas, mantendo assim as características dos compostos bioativos do alimento, ou seja, qualidade estável do produto além de baixa poluição ambiental (Junqueira *et al.*, 2017; Purlis, 2019).

A secagem convectiva é o processo de remoção de água com ar, através da transferência simultânea de calor e massa. No processo da secagem ocorre o aumento da temperatura do material devido ao calor transferido para a superfície, por transferência de calor por convecção, então tem-se a evaporação da água do material. O vapor é forçado a migrar para a superfície do material por conta do efeito da convecção e difusão do ar, conseqüentemente, há redução gradual do teor de umidade (Castro *et al.*, 2018; Zhu *et al.*, 2021).

As condições externas do processo influenciam diretamente na taxa de secagem e propriedades do produto, tais como temperatura do ar, umidade, velocidade e direção do fluxo de ar. Muito além das condições externas, as características intrínsecas, como geometria, espessura e formato, bem como a complexidade da estrutura biológica de cada material, também influenciam na velocidade e eficiência da secagem (Castro *et al.*, 2018).

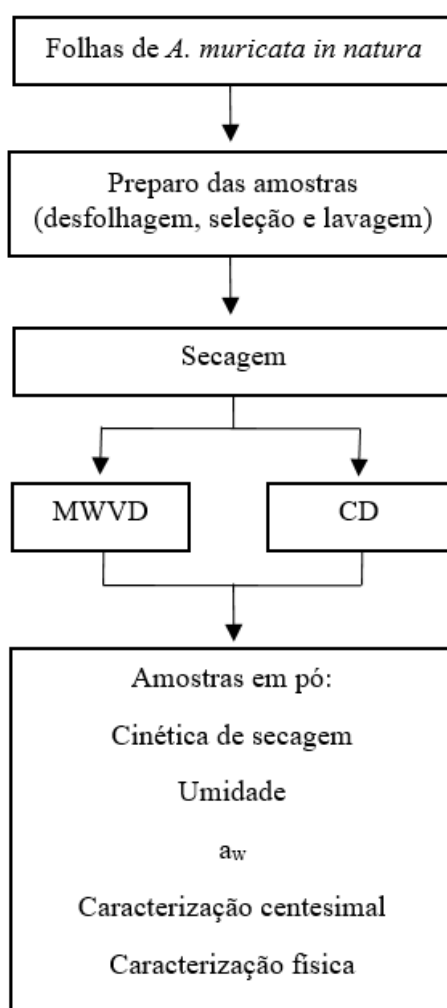
Produtos secos por convecção geralmente requerem longos tempos de processo até que a secagem seja concluída. Portanto, estudar os efeitos desta exposição torna-se de extrema importância, considerando a avaliação dos compostos bioativos e as propriedades físicas do material final.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Na Figura 6 está representado o esquema do procedimento experimental utilizado neste estudo.

Figura 6 – Procedimento experimental



Fonte: A autora (2024).

4.2 SELEÇÃO E PREPARO DA MATÉRIA-PRIMA

As folhas de graviola utilizadas para secagem e obtenção dos pós foram colhidas no município de Florianópolis, Santa Catarina (27°36'08"S 48°28'14"W). As folhas foram escolhidas cuidadosamente, a fim de ter uma maior uniformidade possível. Portanto, foram colhidas tanto do estrato médio quanto do estrato superior da copa, em ambas as faces, leste e

oeste. A coleta das amostras foi realizada em diferentes dias, visando obter a quantidade necessária para os experimentos.

Para a realização da secagem, as folhas foram selecionadas com base no tamanho, cor e qualidade, dando preferência às que não apresentavam quase nenhuma mancha na superfície. Cada folha foi minuciosamente higienizada com água corrente e seca com papel toalha.

4.3 SECAGEM DAS AMOSTRAS

Nesse estudo utilizou-se um secador de micro-ondas, com tambor rotativo, operando sob vácuo e uma estufa de secagem por convecção, onde os parâmetros de secagem são descritos a seguir.

4.3.1 Secagem por micro-ondas a vácuo (MWVD)

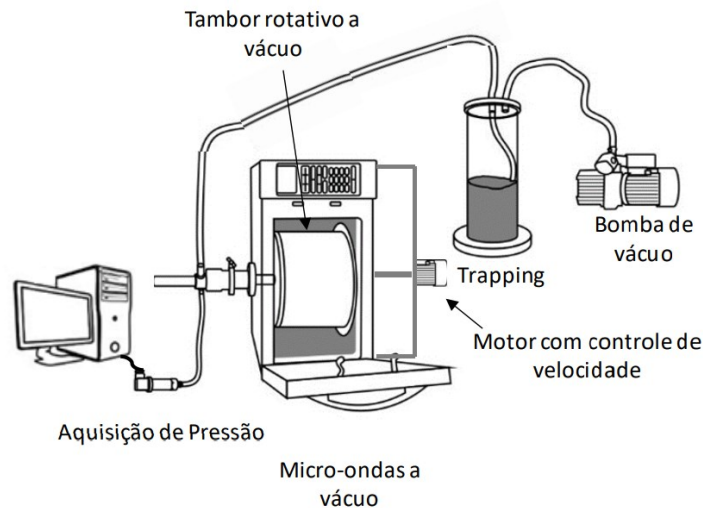
A secagem foi conduzida em um forno micro-ondas doméstico (LG, modelo – MS4297DIR(A), China), adaptado por Monteiro *et al.* (2015) e Gomide *et al.* (2021), em que a potência é emitida continuamente pelo *magnetron* (Figura 7). O equipamento possui uma capacidade interna de 42 litros, com uma potência máxima de 1200 W e frequência de 2.450 MHz. Para que o sistema de vácuo fosse aplicado, o equipamento sofreu algumas adaptações, como a inserção de um tambor rotativo de polipropileno, com tampa, dividido em quatro quadrantes, para melhor dispor as amostras, o que possibilita uma melhor agitação durante a secagem. Além disso o equipamento foi disposto invertido, a fim de acomodar da melhor forma possível as adaptações feitas. Uma coluna de sílica gel foi arranjada entre o micro-ondas e a bomba de vácuo, com a intenção de absorver os vapores de água formados durante a secagem, assegurando o funcionamento correto da bomba e o controle do nível de vácuo.

Para a condução do experimento, foram utilizados 100 g de amostras, distribuídas uniformemente em 4 potes de polipropileno com tampas perfuradas para permitir a saída do vapor (25 g/ quadrante). A pressão no interior do tambor foi reduzida até 40 mbar, a velocidade de rotação foi ajustada em 13 rpm. A potência foi determinada a fim de não ultrapassar a temperatura de 60°C, para manter as propriedades bioativas da amostra, portanto utilizou-se 600 W, por 6 minutos e 240 W por 3 minutos.

As curvas de cinética de secagem foram feitas de forma destrutiva, ou seja, cada ponto da curva foi obtido a partir de uma nova amostra. Foram determinados 6 pontos para a cinética, sendo assim, em intervalos regulares de tempos foram retiradas as amostras e determinado umidade, atividade de água e temperatura. A temperatura da superfície das amostras foi aferida

usando um termômetro infravermelho ($\varepsilon = 0,96$) (Fluke, Modelo 62MAX, China). O experimento foi realizado em duplicata.

Figura 7 – Representação do dispositivo experimental - MWVD.



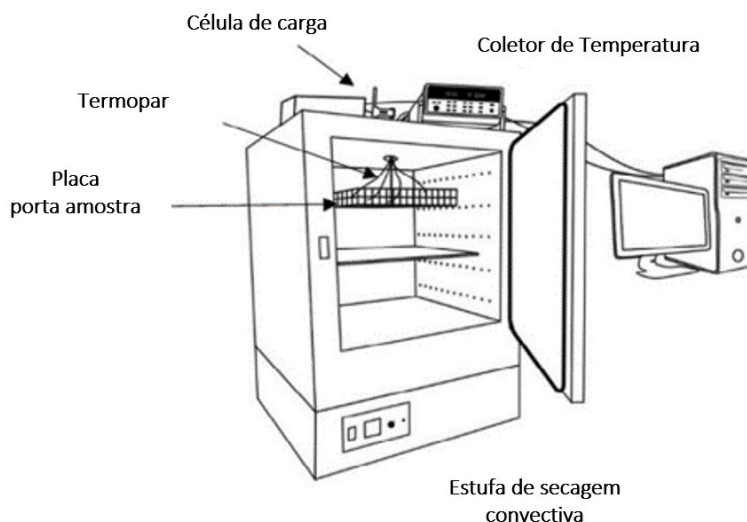
Fonte: Gomide (2021).

4.3.2 Secagem por convecção (CD)

O segundo método de secagem foi realizado em estufa convectiva. Para a construção da curva de cinética de secagem utilizou-se a evolução da massa ao longo do tempo, sendo registrada pela célula de carga monoponto (modelo GL, Alfa Instrumentos, Brasil), acoplada a um suporte metálico, com capacidade nominal de 2 kg e sensibilidade de 0,1 g, conectada a um sistema de condicionamento de sinais (modelo 3101C, Alfa Instrumentos), que por sua vez está conectado a um computador. A placa porta-amostras (forma de alumínio) foi conectada à célula de carga por uma haste rígida e os dados da evolução da massa foram coletados.

A temperatura das amostras foi monitorada por meio de termopares tipo T (Iope, Modelo A-TX-TF-TF-R30AWG, Brasil) fixados na superfície adaxial e abaxial de diferentes folhas, no ar de secagem e na superfície da bandeja, com fita crepe. Um sistema de aquisição de dados (Agilent Technologies, Modelo – 34970A, Estados Unidos) foi utilizado para adquirir e registrar dados de temperatura. Aproximadamente 80 g de amostra foram utilizados para cada experimento. A representação esquemática do dispositivo de secagem é mostrada na Figura 8.

Figura 8 – Representação do equipamento experimental – CD.



Fonte: Adaptado de Monteiro *et al.* (2020).

4.4 OBTENÇÃO DOS PÓS

As folhas desidratadas, tanto por MWVD quanto por CD foram trituradas em liquidificador (modelo Blender Bravus, Freecook Brasil, Brasil), por 45 segundos. O pó obtido foi armazenado, sob refrigeração (4°C), em embalagem metalizada e selada, impedindo a entrada de luz e oxigênio, com o objetivo de manter as características da amostra.

4.5 CARACTERIZAÇÃO CENTESIMAL

4.5.1 Umidade

O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico, seguindo a metodologia ISO 1442:1997. As amostras foram secas em estufa a vácuo a 70°C por 12h e depois pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001g (modelo AY220, Shimadzu, Filipinas). As análises foram realizadas em triplicata.

4.5.2 Resíduo Mineral Fixo

Para determinação de cinzas, utilizou-se a metodologia ISO 936:1998.

Pesou-se 2g de amostra em cadinhos de porcelana, em triplicata, que foram levados para forno mufla, até completa calcinação da matéria, a 550°C.

Para realização do cálculo do teor de RMF, utilizou-se a Equação 1.

$$RMF(g/100 g) = \frac{((Cad.+residuo)-cad.seco)\times 100}{m} \quad (1)$$

4.5.3 Extrato etéreo

A metodologia utilizada para realizar esta análise foi ISO 1443:1973. Pesou-se 10g de amostra em um béquer, em seguida realizou-se a hidrólise ácida. Após a hidrólise, as amostras passaram pelo processo de extração lipídica, para isso, usou-se éter de petróleo e extrator de lipídeos de Soxhlet (Sistema para determinação de gordura - TE-044), para determinação da fração lipídica, foi utilizada a Equação 2. Todos os testes foram realizados em triplicata.

$$Lipídios(g/100 g) = \frac{((Balão+extratoseco)-bãoseco)\times 100}{m} \quad (2)$$

4.5.4 Proteína

A metodologia de análise de proteína foi a ISO 1871:2009, onde utiliza-se a determinação de proteína pelo método *Micro-Kjeldahl*, que consiste na determinação do nitrogênio total. O cálculo para conversão do teor de nitrogênio para proteína bruta encontra-se na Equação 3.

$$Proteínabruta(g/100 g) = \frac{(V_a-V_b)\times 0,14007\times f\times fator\ de\ nitrogênio}{m} \quad (3)$$

Onde, V_a representa o volume de HCl utilizado na titulação da amostra, V_b representa o volume de HCl utilizado na titulação do branco, f é igual ao fator do HCl, o *fator de nitrogênio* utilizado para as folhas de *A. muricata* é de 6,25 e m representa a massa da amostra em gramas.

4.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO PÓ

4.6.1 Solubilidade

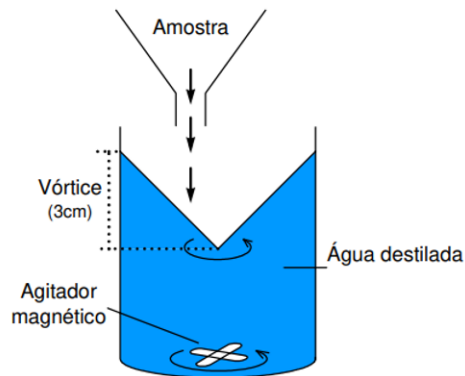
Para determinação da solubilidade, em porcentagem, foi determinada seguindo a metodologia de Dacanal e Menegalli, 2009, com algumas adaptações.

O teste de solubilidade consistiu na adição de 0,75 g de pó para um recipiente contendo 75 ml de água destilada sob agitação, mantendo a altura do vórtice em 30 mm. Após 1 min de agitação, a solução foi rapidamente filtrada e o filtro, contendo as partículas não dissolvidas,

foi seco a 105°C, até peso constante. A solubilidade do pó foi avaliada a partir da fração de material não dissolvido, sendo determinado a taxa de solubilidade pela Equação 4.

$$S(\%) = \frac{\text{material não dissolvido}}{\text{massa inicial da amostra}} \quad (4)$$

Figura 9 - Esquema do dispositivo utilizado para o teste de solubilidade.



Fonte: Dacanal (2009).

4.6.2 Tempo de dispersão

O tempo de dispersão dos pós de folha de graviola foi determinado por um dispositivo muito semelhante ao relatado por Dacanal (2005). Ele consiste em dois reservatórios, um com água e outro para o pó de condicionamento, separados por uma lâmina presa a um pino. Colocou-se 1 g de amostra de pó e 80 mL de água destilada a 25 °C nos espaços do aparelho, e quando o pino foi retirado empurrando-se rapidamente a lâmina para fora, o pó foi liberado no reservatório de água, um cronômetro foi acionado, e o tempo necessário para a imersão completa da amostra foi admitido como tempo de dispersão, como média de três repetições.

Figura 10 – Aparato para medição de tempo de dispersão.



Fonte: Dacanal (2005).

4.6.3 Densidade aparente

Para avaliação da densidade aparente foi utilizada a metodologia descrita por Ansel, 2007, com adaptação. Uma massa conhecida da amostra foi inserida em uma proveta com graduação de 0,1 mL), que foi batido repetidamente em uma superfície plana até que não houvesse mais alteração na altura do leito de partículas. O volume ocupado pelo pó, volume aparente (va). A densidade aparente é obtida através da Equação 5 a seguir:

$$da = \frac{m}{va} \quad (5)$$

Onde da é densidade aparente; m é massa da amostra e va é volume aparente.

4.6.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000) com algumas modificações. Aproximadamente 1 g de cada amostra foram pesados em cápsulas plásticas, que foram colocadas em dessecador contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75 %) a 25 °C. Após 7 dias as amostras foram pesadas e a higroscopicidade foi expressa como g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$).

4.6.5 a_w

Para a determinação da atividade de água, as amostras foram previamente trituradas e as determinações realizadas com higrômetro digital pela medida do ponto de orvalho a 25 °C (DecagonDevices, Inc., Modelo Aqualab Series 4TE, EUA). As análises foram realizadas em triplicata.

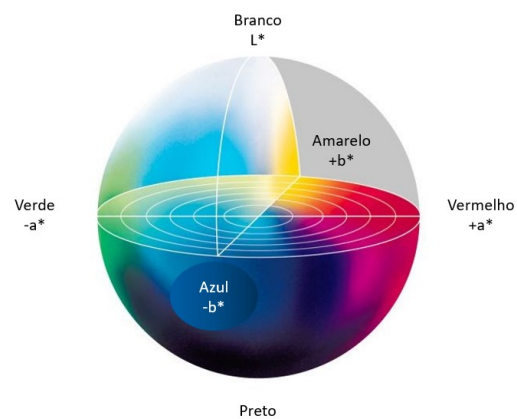
4.6.6 Cor

Para análise da cor, foi utilizado um colorímetro (Delta Color, Modelo Delta Vista, Brasil). Onde foram anotados os parâmetros L^* , a^* e b^* , com faixa de comprimento de onda entre 400 – 740 nm, resultando nas coordenadas colorimétricas em valores de luminosidade (L^* , faixa entre o preto e branco, 0-100) e cromaticidade (a^* , grau de verde ao vermelho, -60 para +60; e b^* , grau de azul ao amarelo, -60 para +60). Todos os testes foram realizados em triplicata. A variação de cor foi avaliada pelo parâmetro ΔE^* tomando como referência a amostra controle (P) (L_0 , a_0 e b_0), conforme Equação 7.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (7)$$

Onde o parâmetro L^* indica o brilho entre preto/ branco ($L^* = 0$ preto e $L^* = 100$ branco), o parâmetro a^* mede o vermelho/verde ($+a^* =$ vermelho e $-a^* =$ verde) e o parâmetro b^* mede a tonalidade amarelo/azul ($+b^* =$ amarelo e $-b^* =$ azul).

Figura 11 – Coordenadas colorimétricas, sistema CIELab.



Fonte: Adaptado de Minolta (1994).

4.6.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As microestruturas dos pós foram observadas pela microscopia eletrônica de varredura (MEV). As amostras foram recobertas com uma camada de ouro utilizando um metalizador (LEICA, Modelo SCD 500, EUA) e para as análises foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (Modelo JEOL JSM-6390LV), com fonte de elétrons de tungstênio de 8 kV.

4.6.8 Análise estatística

Os resultados foram avaliados por ANOVA one-way ao nível de 95% de probabilidade. No caso de efeitos significativos ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Essas análises foram realizadas com o software Statistica 13.5 (Statsoft Inc., Tulsa, EUA).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 SECAGEM

Foi estudada a influência dos métodos de secagem por micro-ondas a vácuo e por convecção sobre o tempo total de processo na secagem de folha de graviroleira.

5.2 UMIDADE DE EQUILÍBRIO

A umidade de equilíbrio foi obtida a partir da secagem de folha de *A. muricata*, por dois métodos de desidratação, durante um intervalo de tempo, sendo 9 minutos para o processo realizado por micro-ondas a vácuo e 230 minutos para a secagem por convecção, onde a temperatura máxima atingida foi de 65°C. A Tabela 1 apresenta os valores de umidade e atividade de água da folha *in natura* e dos pós obtidos por secagem MWVD e CD, respectivamente.

Tabela 1– Valores de umidade e a_w da folha *in natura* e dos pós obtidos por secagem MWVD e CD.

Amostra	X_{bs} (g.g ⁻¹ b.s)	a_w
<i>In natura</i>	1,67 ± 0,22 ^b	0,98 ± 0,00 ^b
MWVD	0,01 ± 0,01 ^a	0,19 ± 0,04 ^a
CD	0,02 ± 0,01 ^a	0,20 ± 0,04 ^a

^{a-b}Letras diferentes na mesma coluna representam uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores médios determinados pelo teste de Tukey.

Fonte: A autora (2024).

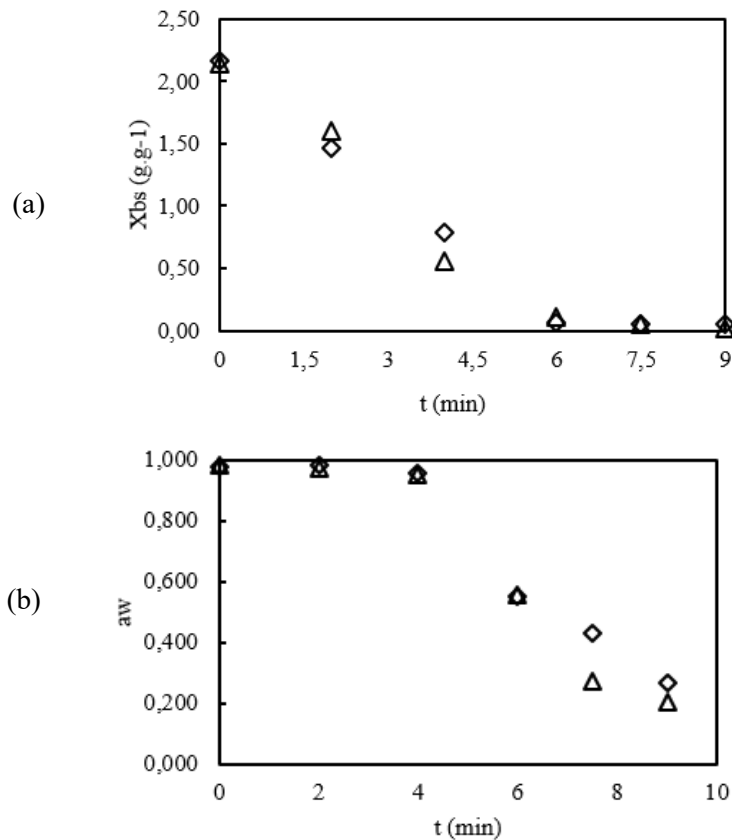
A caracterização quanto à umidade e a_w são fundamentais para a estabilidade e armazenamento do pó (Qadri *et al.*, 2023). Na Tabela 1, pode-se observar que as folhas *in natura* apresentaram variações na umidade (1,67 ± 0,22 g.g⁻¹), influenciadas principalmente pelas condições climáticas, além da variação decorrente da realização dos experimentos em dias diferentes. Não foram observados diferença significativa entre os diferentes métodos de secagem utilizados, resultando em pós com um teor de umidade final inferior a 0,02 g.g⁻¹. Este resultado foi alcançado após 9 min na secagem por MWVD e 230 min para a amostra CD, destacando a eficácia do método de secagem por micro-ondas a vácuo devido à sua rapidez em comparação com a secagem convectiva. Segundo a RDC nº 272 da ANVISA, de 22 de setembro de 2005, produtos de vegetais secos ou desidratados devem possuir umidade inferior a 12%, portanto os resultados obtidos com este trabalho vão ao encontro dos critérios necessários.

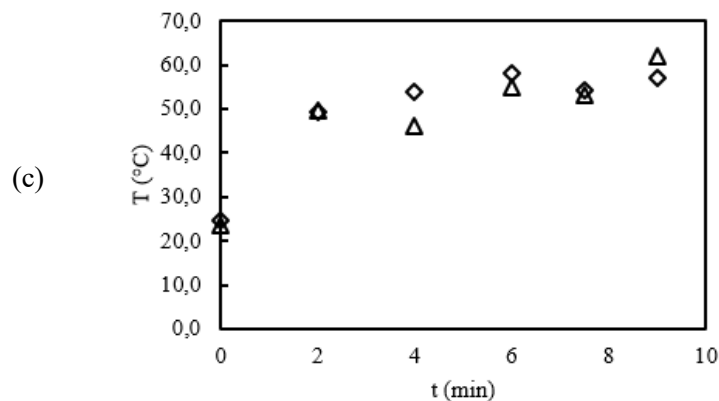
É possível observar que as folhas frescas possuem alta atividade de água (0,98), tornando-se suscetíveis à degradação por micro-organismos e propícias para reações químicas e enzimáticas. Conforme citado por Garcia *et al.* (2020), pós alimentícios com valores de $a_w < 0,4$, são considerados estáveis. As folhas de graviola, após o processo de secagem, apresentaram resultados de a_w menores que 0,2, sem diferença significativa entre os dois tipos de tratamento, indicando estabilidade microbiológica, devido à baixa disponibilidade de água.

5.2.1 Cinética de secagem MWVD

Na Figura 12 (a), 12 (b) e 12 (c) estão apresentadas as duplicatas das curvas de secagem, evolução temporal da atividade de água e evolução temporal de temperatura, respectivamente, das folhas de graviola durante a secagem por MWVD. As duplicatas mostram boa reprodutibilidade dos resultados.

Figura 12 – a) Cinética de secagem MWVD (Umidade x Tempo); b) cinética de a_w (a_w x Tempo); c) evolução temporal de temperatura (Temperatura x Tempo).





Fonte: A autora (2024).

Na figura 12(a) é possível observar três períodos distintos, indicando um comportamento característico de um processo de secagem. Inicialmente, tem-se o aquecimento do produto, onde a temperatura inicial de saturação da água atinge 50 °C, como observado na cinética de temperatura (Figura 12(c)). Na segunda fase (aproximadamente de 2 a 4,5 minutos), é possível constatar secagem à taxa constante, uma vez que a pressão de vapor de água na superfície das folhas é igual à pressão de vapor de saturação da água pura. Por fim, o terceiro período é caracterizado pelo decréscimo da taxa de secagem, causado pela dificuldade de transferência de água do interior para a superfície do alimento (Zhang *et al.*, 2006).

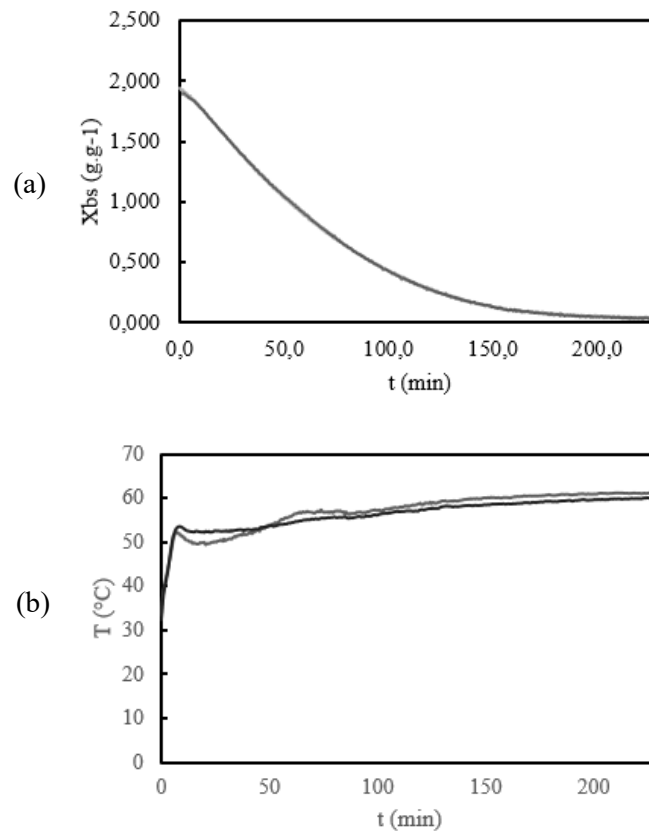
Analisando os gráficos de umidade e a_w , constata-se que a umidade crítica foi atingida a partir dos 4,5 – 6 minutos, cujo o teor de umidade é insuficiente para suprir a superfície do alimento e mantê-lo úmido, marcando a mudança de regime no processo de secagem, de uma fase constante para uma fase decrescente de secagem.

A partir dos 6 minutos de processo, é marcada a umidade relativa de equilíbrio, onde alcança-se o menor teor de umidade atingível, sendo assim a pressão de vapor sobre o sólido é igual a pressão de vapor do ar de secagem (Marcinkowski, 2006).

5.2.2 Cinética de secagem CD

Na Figura 13 (a) e 13 (b) estão apresentadas as duplicatas das curvas de secagem e evolução temporal de temperatura, respectivamente, das folhas de graviola durante a secagem por CD. As duplicatas mostram boa reprodutibilidade dos resultados.

Figura 13 – a) Cinética de secagem CD (Umidade x Tempo); b) cinética de temperatura.



Fonte: A autora (2024).

A cinética de secagem para o processo CD também apresentou um comportamento característico, como observado na Figura 13(a). No estágio inicial, pode-se observar o aumento da temperatura (Figura 13(b)), devido à disponibilidade de água no alimento, até o início do segundo estágio, entre 10 e 150 minutos, onde é marcado por atingir a umidade crítica. Esse ponto é definido quando o teor de umidade é tal que a velocidade de migração da água do interior da folha para a superfície é menor que a velocidade de retirada da água da folha pelo ar de secagem. O terceiro período é caracterizado pelo final da secagem, indicando a umidade relativa de equilíbrio, a partir dos 150 minutos, onde o teor de umidade do produto é reduzido ao máximo.

5.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS PÓS

A caracterização físico-química de alimentos cria parâmetros comparáveis e é utilizada principalmente no controle de qualidade, porque permite estimar as características e a variabilidade dos insumos no processo industrial, no armazenamento e dificulta adulterações (Fernandes; Boylan e Salgado, 2018).

5.3.1 Caracterização centesimal

A Tabela 2 apresenta os dados de proteína bruta, lipídios e cinzas, para as amostras in natura e secas por MWVD e CD.

Tabela 2 – Resultados de proteína bruta, lipídios e cinzas para os pós obtidos pela secagem de folha de gravioleira.

Amostra	Proteína bruta (g.100g ⁻¹)	Lipídios (g.100g ⁻¹)	Cinzas (g.100g ⁻¹)
In natura	11,35 ± 0,55 ^b	4,72 ± 0,05 ^a	10,26 ± 0,14 ^c
MWVD	10,41 ± 0,06 ^a	5,06 ± 0,28 ^a	9,01 ± 0,02 ^a
CD	10,15 ± 0,21 ^a	4,24 ± 0,25 ^a	9,51 ± 0,04 ^b

^{a-b}Letras diferentes na mesma coluna representam uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores médios determinados pelo teste de Tukey.

Fonte: A autora (2024).

O teor médio de proteína de todas as amostras foi de $10,63 \pm 0,27$ g.100g⁻¹. A variação do teor de proteína foi de 10,15-11,35 g.100g⁻¹, havendo diferença significativa entre a amostra *in natura* e as amostras secas, sendo perceptível uma diminuição dos teores de acordo com o processamento. Uma hipótese que pode explicar este fato é a possível desnaturação de proteínas acarretada pela aplicação de calor, posto isto o tratamento com convecção, ao qual foi exposto a um tempo maior sob o calor possui o menor teor de proteínas ($10,15 \pm 0,21$) (Garcia *et al.*, 2021). Os resultados obtidos estão alinhados com os relatados em outros estudos (Moraes e 2016; Elizabeth *et al.*, 2018).

Os resultados do teor de lipídios das amostras variaram de 5,06 - 4,24 g.100g⁻¹, tendo uma média de $5,67 \pm 0,19$ g.100g⁻¹. Não houve diferença significativa entre os resultados encontrados. A literatura relata baixos níveis de lipídios para folhas de graviola (Garcia et al, 2021), sendo que Esmelindro *et al.* 2002, encontraram teor de lipídio de 6,76% para folha de erva-mate, indo ao encontro dos resultados do presente estudo.

Os altos valores de cinzas podem refletir a presença de minerais e microelementos essenciais para a nutrição humana e processos fisiológicos (Seghiri; Kharbach; Essamri, 2019). O elevado teor de minerais no pó da folha de Graviola é importante para a sua potencial utilização como ingrediente, uma vez que pode melhorar a qualidade nutricional dos alimentos. No presente estudo, o maior valor de teor de cinzas foi encontrado na amostra *in natura* ($10,26 \pm 0,14$ g.100g⁻¹), enquanto o menor teor de cinzas foi encontrado na amostra MWVD, sendo que os valores foram significativamente diferentes entre os tratamentos ($p < 0,05$). O teor médio

de cinzas foi de $9,59 \pm 0,07 \text{ g.100g}^{-1}$. Moraes, 2016 encontrou teor de cinzas de $6,8 \pm 0,3\%$, para folha de graviola seca em estufa.

5.3.2 Colorimetria

Na Figura 14 (a) e 14 (b) são apresentadas as imagens das amostras de *Annona muricata* durante a cinética de secagem MWVD e CD em 0min e 230min, respectivamente.

O resultado dos diferentes métodos de secagem aplicados para a folha de graviola, no efeito da cor dos pós pode ser observado na Figura 15 e na Tabela 3, onde são apresentados os parâmetros de cor da escala CIELab (L^* , a^* , b^* e ΔE) de cada tratamento.

Tabela 3 – Parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) e evolução da cor total (ΔE) da folha in natura e dos pós de folha de graviola obtidos por MWVD e CD.

Amostra	L^*	a^*	b^*	ΔE
<i>In natura</i>	$37,29 \pm 12,42^b$	$-8,42 \pm 1,54^b$	$21,11 \pm 1,42^a$	0^a
MWVD	$51,27 \pm 2,18^a$	$-14,56 \pm 0,99^a$	$38,31 \pm 0,85^c$	$23,00^c$
CD	$46,30 \pm 2,72^a$	$-5,88 \pm 3,33^c$	$28,27 \pm 1,68^b$	$11,78^b$

^{a-c}Letras diferentes na mesma coluna representam uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores médios determinados pelo teste de Tukey.

Fonte: A autora (2024).

Figura 14 – Imagens das folhas de *Annona muricata* durante a secagem por MWVD



Fonte: A autora (2024).

O parâmetro L^* indica a luminosidade da amostra e pode variar de 0 (preto absoluto) a 100 (branco absoluto). É possível observar pela Tabela 3 a diferença entre a amostra *in natura* e as amostras secas. A amostra MWVD apresentou o maior valor de L^* ($51,27 \pm 2,18$) demonstrando ser mais clara, sendo equivalente a amostra CD ($46,30 \pm 2,72$), não apresentando diferença significativa, enquanto a folha *in natura* se mostrou mais escura do que os pós ($37,29 \pm 12,42$).

O parâmetro a^* da escala CIELab indica a coordenada vermelho/verde, com valores negativos associados a tons verdes e valores positivos estão relacionados a tons vermelhos. Todos os tratamentos apresentaram valores negativos conforme observado na Tabela 3, indicando uma tendência ao verde. O valor médio de a^* foi de $-9,62 \pm 1,95$, sendo o pó obtido da secagem por microondas o de menor valor, indicando que este possui uma coloração de verde mais intenso, quando comparado com a folha fresca e a amostra CD, respectivamente.

No que diz respeito ao parâmetro b^* , valores positivos indicam que as amostras são mais amarelas e valores negativos indicam proximidade com a coloração azul. Todos os valores encontrados são positivos, demonstrando que os diferentes tratamentos se aproximam da cor amarela. O valor médio do parâmetro b^* foi de $29,23 \pm 1,31$. É possível analisar que houve diferença significativa entre as amostras, em que ocorreu um aumento no valor de b^* , tanto para a amostra MWVD quanto para CD, em relação a amostra *in natura*, ou seja, as amostras se tenderam mais ao amarelo.

Entre os diferentes métodos de secagem, o tratamento que teve o resultado mais favorável em relação ao parâmetro a^* foi a amostra MWVD, uma vez que contribuiu para o melhoramento da coloração verde na folha, na mesma intensidade observou-se aumento da tonalidade amarela. Já o tratamento CD refletiu em uma baixa luminosidade e baixa tonalidade de verde, indicando uma coloração mais escura e opaca. O processo de secagem que mais preservou a cor foi o CD, demonstrando menor valor de ΔE .

5.3.3 Caracterização física

Na Tabela 4 são apresentados os resultados encontrados para as análises de solubilidade, tempo de dispersão, densidade aparente e higroscopicidade para os pós de folha de graviola, obtidos por diferentes métodos de secagem.

Tabela 4 – Valores encontrados para análise de solubilidade, tempo de dispersão, densidade aparente e higroscopicidade para os pós de folha de graviola secos por micro-ondas a vácuo e convecção.

Amostra	Solubilidade (%)	Tempo de dispersão (seg.)	Densidade aparente (g.ml ⁻¹)	Higroscopicidade %
MWVD	29,57 ± 0,72 ^a	41,00 ± 1,73 ^a	0,48 ± 0,005 ^a	10,62 ± 0,30 ^b
CD	29,21 ± 0,19 ^a	267,67 ± 5,86 ^b	0,50 ± 0,001 ^b	9,79 ± 0,20 ^a

^{a-b}Letras diferentes na mesma coluna representam uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores médios determinados pelo teste de Tukey.

Fonte: A autora (2024).

A solubilidade está relacionada com a capacidade de reconstituição dos pós, ou seja, é um parâmetro utilizado para mensurar a capacidade do pó em se manter em uma mistura homogênea com a água. Quanto maior a solubilidade mais facilmente este pó será reconstituído em solução (Tonon *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2020). É possível observar pela Tabela 4, que não houve diferença significativa entre as amostras submetidas aos diferentes métodos de secagem. O processo por MWVD apresentou um percentual de 29,57 ± 0,72%, enquanto o experimento realizado com estufa convectiva registrou um valor de 29,21 ± 0,19% de solubilidade.

A baixa solubilidade das amostras é atribuída ao alto teor de fibras presente nas folhas de graviola, de acordo com Elizabeth *et al.*, 2018 a média do conteúdo de fibras presente nas folhas é de 52,623 ± 0,36%. Portanto, os pós podem ser classificados como alto conteúdo de fibra, conforme definido pela RDC n° 360, de 23 de dezembro de 2003.

O tempo de dispersão das partículas de pó em um líquido é, usualmente, utilizada para avaliar as propriedades de instantaneização do alimento (Dacanal; Menegalli, 2010). A análise da Tabela 4 revela uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos avaliados, a amostra submetida ao processo de secagem por convecção levou aproximadamente 267,67 ± 5,86 seg, para completa dispersão. Em contraste, a amostra seca por micro-onda a vácuo dispersou-se mais rapidamente, levando em média 41,00 ± 1,73 seg.

A propriedade de dispersão pode ser influenciada pelas condições de processamento do alimento, como temperatura e tempo de secagem, além da escolha do método (Dacanal; Menegalli, 2010). A temperatura média máxima atingida na secagem foi de 60°C, nesse sentido, a amostra MWVD foi exposta a um tempo de calor significativamente menor (9 minutos), enquanto a amostra seca por estufa convectiva enfrentou uma exposição cerca de 25 vezes

maior (230 minutos), o que influenciou diretamente na dispersibilidade do pó, resultando na amostra com maior tempo de dispersão.

Os pós apresentaram valores significativamente diferentes de densidade aparente, sendo que a amostra CD ($0,50 \pm 0,001 \text{ g.ml}^{-1}$) demonstrou uma densidade aparente maior em comparação com a MWVD ($0,48 \pm 0,005 \text{ g.ml}^{-1}$). Essa diferença pode ser atribuída aos diferentes métodos de secagem e ao teor de umidade presente nas amostras, uma vez que amostra CD apresentou um teor de umidade ligeiramente mais elevado que a amostras MWVD.

A higroscopicidade é uma propriedade ligada à capacidade dos alimentos em pó absorverem a umidade (Jaya; Das, 2004). Dessa forma, quanto menor a umidade do produto, maior será sua higroscopicidade, a fim de atingir a umidade relativa de equilíbrio com o ambiente. À medida que a umidade do produto aumenta, a capacidade de adsorção de água vai diminuindo, apesar da higroscopicidade permanecer constante, por se tratar de uma propriedade intrínseca do material.

Os valores de higroscopicidade entre os tratamentos apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$). A amostra submetida ao processo de secagem por convecção (CD) apresentou uma menor taxa de higroscopicidade ($9,79 \pm 0,20\%$), enquanto a amostra seca por micro-ondas a vácuo (MWVD) apresentou uma taxa mais alta ($10,62 \pm 0,30\%$). Isso sugere que a secagem convectiva resulta em um pó ligeiramente menos higroscópico, justamente por apresentar uma umidade maior que a amostra MWVD, tendo assim a redução da capacidade de absorver água do ambiente.

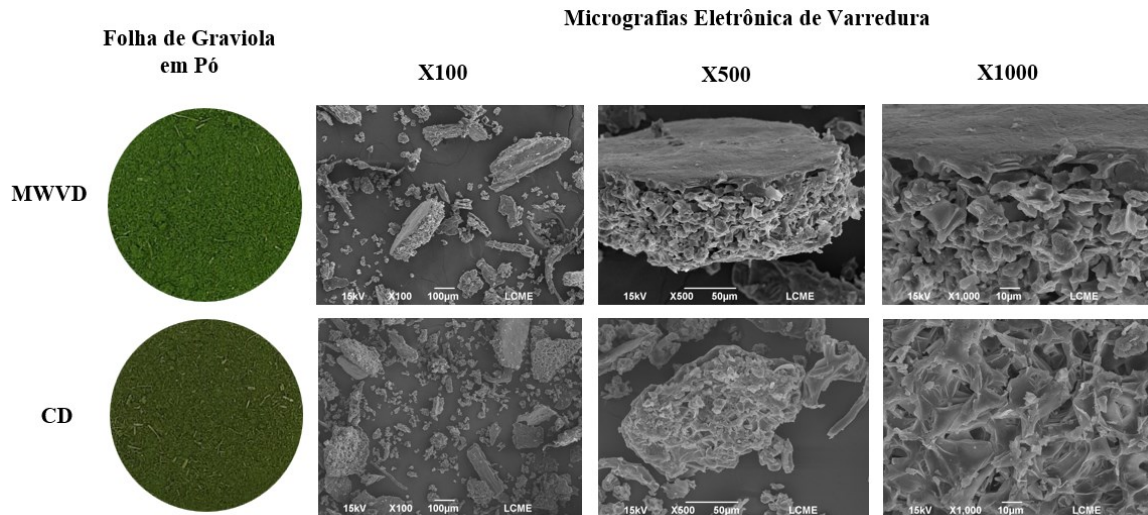
De acordo com os critérios de GEA Niro (2005), a amostra CD é classificada como não higroscópica, por apresentar um valor de higroscopicidade inferior a 10%, enquanto a amostra MWVD é classificada como ligeiramente higroscópica (10,1-15%). Portanto, os pós obtidos podem ser considerados estáveis, com menor probabilidade de apresentarem problemas relacionados às suas propriedades físicas e ao armazenamento, particularmente em relação à aglomeração (Ferreira, 2017).

5.3.4 Microscopia eletrônica de varredura

A Figura 15 apresenta as fotomicrografias de partículas de pó da folha de graviola, obtidas por câmera e microscopia eletrônica de varredura (MEV). A análise da superfície das partículas do pó, obtido por secagem por micro-ondas a vácuo e estufa convectiva, foi realizada em caráter tridimensional através de microscopia eletrônica de varredura, com aumentos de

100X, 500X e 1000X, com a finalidade de efeitos comparativos, também são apresentadas as imagens dos pós da folha de graviola, sem aumento.

Figura 15 – Imagens da folha de graviola em pó e microscopia eletrônica de varredura, obtidos por secagem MWVD e CD.



Fonte: A autora (2024).

As partículas apresentaram paredes irregulares, com fissuras e superfície porosa. Observa-se que as partículas tendem a ter uma superfície fragilizada, pois o processo de secagem torna o material mais rígido e quebradiço. As micrografias das diferentes secagens aplicadas à folha de graviola não mostram diferenças significativas entre as superfícies dos pós, embora apresentem alto conteúdo de fibras.

As partículas possuem tamanhos irregulares devido à distribuição granulométrica, que depende do tipo de moinho, da abertura da malha do tamis e da quantidade de processamento aplicado ao material (Andrade, 2020).

6. CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho demonstram que é possível obter pós alimentares a partir da secagem das folhas de graviola. As cinéticas de secagem permitiram determinar os tempos de 9 minutos e 230 minutos para MWVD e CD, respectivamente, com teores de umidade de $0,01 \pm 0,01 \text{ g.100g}^{-1}$ e $0,02 \pm 0,01 \text{ g.100g}^{-1}$, destacando a eficiência do método por micro-ondas a vácuo devido à sua rapidez em comparação com a secagem convectiva. Os valores de a_w foram de 0,19 para MWVD e 0,20 para CD, indicando estabilidade microbiológica.

A secagem resultou em pós com baixo índice de solubilidade devido ao alto teor de fibras presente. No entanto, o método por micro-ondas a vácuo produziu um pó com tempo de dispersão significativamente menor do que o obtido pela secagem por convecção. Em relação à higroscopicidade, as amostras podem ser classificadas como não higroscópicas.

Em termos de preservação da cor em relação à amostra in natura, a secagem por estufa convectiva foi o método que se destacou. As microestruturas dos pós revelaram características de porosidade e irregularidade das partículas.

Dessa forma, é possível concluir que os diferentes métodos de secagem são eficientes, gerando produtos promissores para a indústria de alimentos, especialmente visando o reaproveitamento de subprodutos. A secagem por micro-ondas a vácuo resultou em um pó com desempenho superior em comparação ao pó obtido por convecção, apresentando melhores resultados em termos de composição centesimal e caracterização física. A maior vantagem apresentada pelo método MWVD é sua eficiência de processo, levando a uma significativa vantagem operacional e econômica.

7. REFERÊNCIAS

AMÂNCIO, G. Da S.; MACIEL, J. P.; SANTOS, M. I. P. Dos.; BIANCO, R. A. A utilização medicinal da *annona muricata l.*: Uma revisão sobre os estudos e testes antitumorais. *In: JUNIOR, F. F. C. Ciências da saúde: desafios, perspectivas e possibilidades*. Científica digital, v. 3. p. 57-69, 2021.

ANDRADE, F. H. D. de Caracterização analítica da matéria-prima vegetal e extratos de *Annona muricata L.* 2020. 107 f. Tese (Doutorado em farmácia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

BERUMEN-VARELA, G.; HERNÁNDEZ-OÑATE, M. A.; TIZNADO-HERNÁNDEZ, M. E. Utilization of biotechnological tools in soursop (*Annona muricata L.*). *Scientia Horticulturae*. v.245, p. 269-273, 2019.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC nº 2, de 7 de janeiro de 2002. Regulamento técnico de substâncias bioativas e probióticos isolados com alegação de propriedades funcional e ou de saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and Properties of Spray-dried *Amaranthus* Betacyanin Pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 7, p. 1248–1252, out. 2000.

CALLE, M. M. G.; ARIAS, S. P.; HERNÁNDEZ, J. M. Acetogenins, Alternative Cancer Treatment In Dogs. **Ces Medicina Veterinaria Y Zootecnia**, v. 13, n. 2, p. 157-172, 2018.

CÁRDENAS, C.; TORRES-VARGAS, J. A.; CÁRDENAS-VALDIVIA, A.; JURADO, N.; QUESADA, A. R.; GARCÍA-CABALLERO, M.; MARTÍNEZ-POVEDA, B.; MEDINA, M. Á. Non-targeted metabolomics characterization of *Annona muricata* leaf extracts with anti-angiogenic activity. **Biomedicine & Pharmacotherapy**. v. 144, 112263, 2021.

CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. Mathematical Modelling Of Convective Drying Of Fruits: A Review. **Journal Of Food Engineering**, v. 223, p. 152-167, 2018.

Ceasa – Bahia: cotação diária atualizada, 2023. Disponível em: <https://jornal.camposoberano.com.br/ceasa-bahia-cotacao-diaria-atualizada/>. Acesso em: 11 nov. 2023.

CHIH-CHUANG, L. TUNG-YING, W. FANG-RONG, C. YANG-CHANG, W. Historic perspectives on annonaceous acetogenins from the chemical bench to preclinical trials. **Planta medica**, v.76, n. 13, p. 1390-1404, 2010.

CHUA, K.J.; CHOU, S.K. Low-Cost Drying Methods for Developing Countries. **Trends in Food Science & Technology**, v. 14, n. 12, p. 519-528, 2003.

Cotações: Preços no atacado, 2023. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/cotacoes/#cotacao>. Acesso em: 11 nov. 2023.

DACANAL, G. C.; MENEGALLI, F. C. Experimental study and optimization of the agglomeration of acerola powder in a conical fluid bed. **Powder Technology**, v. 188, n.3, p.187- 194, 2009.

DACANAL, G. C.; MENEGALLI, F. C. Selection of operational parameters for the production of instant soy protein isolate by pulsed bed agglomeration. **Powder Technology**, v. 203, n. 3, p. 565-573, 2010.

DACANAL, G.C. **Estudo da granulação de suco de acerola desidratado em leito fluidizado**. 2005. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

ELIZABETH O. O, NONSO I. F, ADEBOLA N. I, JOHN O. J. Comparative Study on Chemical Composition and Antioxidant Activity of *Annona muricata* Plant Parts Cultivated in Covenant University, Ota, Ogun State, Nigeria. **Curr Res Nutr Food Sci**, v.6, n. 3, 2018.

ESMELINDRO, M. C.; TONIAZZO, G.; WACZUK, A.; DARIVA, C. OLIVEIRA, D. Caracterização físico-química da erva-mate: influências das etapas do processamento industrial. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 22(2): 193-204, 2002.

FELLOWS, P. J. *Food Processing Technology: Principles and Practice*. 2. ed. Boca Raton: **Woodhead Publishing Limited**, 2000.

FELLOWS, P. J. *Food processing technology: Principles and practice*. 3ª ed., Cambridge: **Woodhead Publishing Limited**, 2009.

FELLOWS, P. J. *Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática*. Porto Alegre: **Artmed**, 2ª ed, 2006.

FERNANDES, F. H. A.; BOYLAN, F.; SALGADO, H. R. N. Quality standardization of herbal medicines of *Spondias dulcis* Parkinson using analytical and microbiological analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 134, n. 3, p. 1923–1928, 2018.

FERREIRA, A. P. R. **Polpa de Cajá em pó obtida pelo processo de secagem em leito de jorro: caracterização física, físico-química e estudo da estabilidade**. 108 f. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FRITZEN-FREIRE, C. B. et al. Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 306–312, 2012.

GARCIA, H. M.; ALVES, M. de M.; SIMIONATTO, E.; MORATO, P. N. Erva-Mate (*Illex paraguariensis*) in natura e processada para Tererê: caracterização centesimal, compostos fenólicos e atividade antioxidante. *In: I congresso brasileiro online de ciência dos alimentos*. 2021, Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**. v.11, n.2, p.889-895, 2021.

GARCIA, V. A. S.; BORGES, J. G.; VANIN, F. M.; CARVALHO, R. A. Vitamin C stability in acerola and camu-camu powder obtained by spray drying. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2019237, 2020.

GEANKOPLIS, C.J. Transport Processes and Unit Operations, 3 ed., New Jersey: Inc. Prentice Hall, 1993.

GOMIDE, A. I. **Secagem de batatas por micro-ondas a vácuo: estudo da digestibilidade do amido, índice glicêmico e aceitabilidade sensorial**. 2021. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

HÖLLERHAGE, M.; RÖSLER, T. W.; BERJAS, M.; LUO, R.; TRAN, K.; RICHARDS, K. M.; SABAA-SRUR, A. U.; MAIA, J. G.; MORAES, M. R. DE; GODOY, H. T.; HÖGLINGER, G. U.; SMITH, R. E. Neurotoxicity of Dietary Supplements from *Annonaceae* Species. **International Journal of Toxicology**. v.34, n. 6. p. 243-250, 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo agropecuário: Produção de Graviola. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/graviola/br>. Acesso em 23 mai. 2023.

JACOB-HERRERA, N. PÉREZ-PLASENCIA, C.; CASTRO-TORRES, V. A.; MARTÍNEZ-VÁZQUEZ, M.; GONZÁLEZ-EZQUINCA, A. R.; ZONTELLA-DEHESA, A. Selective Acetogenins and Their Potential as Anticancer Agents. **Frontiers in Pharmacology**. v.10, 2019.

JARAMILLO, M. C.; ARANGO, G. J.; GONZÁLEZ, M. C.; ROBLEDO, S. M.; VELEZ, I.D. Cytotoxicity and antileishmanial activity of *Annona muricata* pericarp. **Fitoterapia**, v. 71, n. 2 p. 183–186, 2000.

JAYA, S.; DAS H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powders properties. **J. Food Eng.** v. 63, p.125–134, 2004.

JÚNIOR, H. C. M. S. **Secagem de alimentos por micro-ondas: desenvolvimento de um protótipo de secador a vácuo, análise do processo e aplicação sobre diferentes tipos de alimentos**. 2021. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, 2021.

JUNQUEIRA, J. R.; CORRÊA, J. L. G.; ERNESTO, D.B. microwave, convective, and intermittent microwave–convective drying of pulsed vacuum osmodehydrated pumpkin slices. **Journal of food processing and preservation**, v. 41, n. 6, e-13250, 2017.

KIM, G.-S.; ZENG, L.; ALALI, F.; ROGERS, L.L.; WU, F.-E.; MCLAUGHLIN, J.L.; SASTRODIHARDJO, S. Two new mono-tetrahydrofuran ring acetogenins, annomuricin e and muricapentocin, from the leaves of *Annona muricata*. **Journal Natural Products**, v. 61, n. 4, p. 432–436, 1998.

LABUZA, T. P. Interpretation of sorption data in relation to the state of constituent water. In DUCKWORTH, R. B. Water relations of foods. **London, Academic Press Inc.** p. 155-173, 1975.

LANNUZEL, A.; HÖGLINGER, G. U.; VERHAEGHE, S.; GIRE, L.; BELSON, S.; ESCOBAR-KHONDIKER, M.; POUILLAIN, P.; OERTEL, W. H.; HIRSCH, E. C.; DUBOIS, B.; RUBERG, M. Atypical parkinsonism in Guadeloupe: a common risk factor for two closely related phenotypes? **Brain**, v.130, n. 3, p. 816-827, 2007.

LEITE, D. O. D. NONATO, C. de F. A.; CAMILO, C. J.; CARVALHO, N. K. G.; NOBREGA, M. G. L. A.; PEREIRA, R. C.; COSTA, J. G. M. da. *Annona Genus: Traditional Uses, Phytochemistry and Biological Activities*. **BENTHAM SCIENCE**. v.26, n. 33, p. 4056-4091, 2020.

LIMA, N. N. Das C.; FAUSTINO, D. C.; ALLAHADADI, K. J.; FRANÇA, L. S. De A.; PINTO, L. C. Acetogenins from *Annonaceae* plants: potent antitumor and neurotoxic compounds. **Pharma Nutrition**. v.20, 100295, 2022.

LIU, N.; YANG, H. L.; WANG, P.; LU, Y. C.; YANG, Y. J.; WANG, L.; LEE, S. C. Functional proteomic analysis reveals that the ethanol extract of *Annona muricata* L. induces liver cancer cell apoptosis through endoplasmic reticulum stress pathway. **Journal of Ethnopharmacology**. v. 189, p. 210-217, 2016.

LOPES, F. J. **Secagem convectiva e secagem micro-ondas-vácuo de Yacon osmoticamente pré-tratado**. 2016. 131 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

LÓPEZ-ROMERO, B.A.; LUNA-BÁRCENAS, G.; GARCÍA-MAGAÑA, M.D.L.; ANAYA-ESPARZA, L.M.; ZEPEDA-VALLEJO, L.G.; LÓPEZ-GARCÍA, U.M.; ORTIZ-BASURTO, R.I.; AGUILAR-HERNÁNDEZ, G.; PÉREZ-LARIOS, A.; MONTALVO-GONZÁLEZ, E. Extraction of Acetogenins Using Thermosonication-Assisted Extraction from *Annona muricata* Seeds and Their Antifungal Activity. **Molecules**, v. 27, n. 18, 6045, 2022.

MANICA, I. Taxonomia ou sistemática, morfologia e anatomia. In: MANICA, I. **Fruticultura: cultivo das annonáceas**. Porto Alegre: EVANGRAF, p. 3-11, 1994.

MARCINKOWSKI, E. A. **Estudo da cinética de secagem, curvas de sorção e predição de propriedades termodinâmicas da proteína texturizada de soja**. 128 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MINOLTA. Precise color communications. Color Control from Feeling to Instrumentation. Osaka, Japan: 1994.

MOGHADAMTOUSI, S. Z.; FADAEINASAB, M.; NIKZAD, S.; MOHAN, G.; ALI, H. M.; KADIR, H. A. *Annona muricata* (Annonaceae): A Review of Its Traditional Uses, Isolated Acetogenins and Biological Activities. **International Journal of Molecular Sciences**. v.16, n. 7, p. 15625-15658, 2015.

MONTALVO-GONZÁLEZ, E.; TELLEZ-ISAIAS, G.; LÓPEZ-RAMERO, B. A.; ZAMUDIO-OJEDA, A.; PÉREZ-LADRÓN, H. G.; CASTELLANOS-HUERTA, I.; PÉREZ-LARIOS, A.; AGUILAR-HERNÁNDEZ, G. Polyethylene glycol/soy lecithin-

nanosuspensions as carriers of acetogenins: optimization, characterization, antibacterial and hemolytic activity. **Journal of drug delivery science and technology**, v. 91, 105228, 2024.

MONTEIRO, R. L. **Secagem de batata-doce em micro-ondas a vácuo com controle da temperatura pela manipulação da potência**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

MONTEIRO, R. L.; LINK, J. V.; TRIBUZI, G.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Microwave vacuum drying and multi-flash drying of pumpkin slices. **LWT**, v. 96, p. 6121-619, 2018.

MORAES, I. V. M. De. **EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA FOLHA DA GRAVIOLEIRA (*Annona muricata* L.) E CONCENTRAÇÃO DOS EXTRATOS POR ULTRA E NANOFILTRAÇÃO**. 2016. 165 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

MORAES, I. V. M. de; RIBEIRO, P. R. V.; SCHIMIDT, F. L.; CANUTO, K. M.; ZOCOLO, G. J.; BRITO, E. S.; LUO, R.; RICHARDS, K. M.; TRAN, K.; SMITH, R. E. UPLC–QTOF–MS and NMR analyses of graviola (*Annona muricata*) leaves. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v.26, n. 2, p. 174-179, 2016.

MOSCA, J. L.; CAVALCANTE, C. E. B.; DANTAS, T. M. Características Botânicas das Principais Anonáceas e Aspectos Fisiológicos de Maturação. Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. 28 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 106). ISSN 1677-1915.

NOGUEIRA, E. A.; MELLO, N. T. C. De; MAIA, M. L. **PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE ANNONÁCEAS EM SÃO PAULO E BRASIL**. **Informações Econômicas**, v.35, n.2, p. 51-54, 2005.

Normas de Classificação – **Programa Brasileiro para modernização da Horticultura**. v.1, n.1, p. 2237 - 6666, São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, B. F. de.; NEGREIROS, J. K. da S.; BONFIM, K. S. do.; CAVALCANTE, J. de A.; PINTO, M. F. COSTA, N. A. Mathematical modeling of drying kinetics in foam-mat drying of soursop (*Annona muricata* Linn) leaf and Characterization of the obtained powder. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, e10942811, 2020.

PARK, K.J.; ANTONIO, G.C.; OLIVEIRA, R.A.; PARK, K.J.B. Conceitos de processo e equipamentos de secagem. Campinas. p.47- 51, 2007.

PINTO, L. C. **Características físico-químicas e potencial farmacológico, do óleo da semente da *Annona muricata* L. em modelos de diabetes melito tipo 1 in vivo e in vitro**. 2015. 150 f. Tese (Doutorado em Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas) – Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

PURLIS, E. Modelling convective drying of foods: a multiphase porous media model considering heat of sorption. **Journal of food engineering**, v. 263, p. 132-146, 2019.

QADRI, T. et al. Impact of spray drying conditions on the reconstitution, efficiency and flow properties of spray dried apple powder-optimization, sensorial and rheological assessment. **Heliyon**, v. 9, n. 8, e18527, 2023.

QUILÉZ, A. M.; FERNÁNDEZ-ARCHE, M. A.; GARCÍA-GIMÉNEZ, M. D.; DE LA PUERTA, R. Potential therapeutic applications of the genus *annona*: local and traditional uses and pharmacology. **Journal of ethnopharmacology**, v. 225, n. 28, p. 244-270, 2018.

RATTI, C. *Advances in Food Dehydration*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2009.

SÃO JOSÉ, A. R. S.; PIRES, M. De M.; FREITAS, A. L. G. E. De; RIBEIRO, D. P.; PEREZ, L. A. A. **Atualidades e perspectivas das Anonáceas no mundo**. Palestra proferida no V Congresso Internacional & Encontro Brasileiro sobre Annonaceae: do gene à exportação, Botucatu -SP, (19 a 23 ago. 2013), v. 36, edição especial, e., p. 086-093, Jan. 2014.

SEGHIRI, Rajaa; KHARBACH, Mourad; ESSAMRI, Azzouz. Functional Composition, Nutritional Properties, and Biological Activities of Moroccan Spirulina Microalga. *Journal Of Food Quality*, [S.L.], v. 2019, p. 1-11, 3 jul. 2019. Hindawi Limited.

SILVA, A. C. M. **COMPOSTOS BIOATIVOS DA POLPA, CASCA E FOLHAS DE GRAVIOLEIRA SOB DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM**. 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga, 2016.

SILVA, G. de A. **Desenvolvimento de filmes comestíveis a base de algas**. 119 f. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência do Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

TONON, R. V. et al. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 411-418, 2008.

WU, F.-E.; GU, Z.-M.; ZENG, L.; ZHAO, G.-X.; ZHANG, Y.; MCLAUGHLIN, J.L.; SASTRODIHARDJO, S. Two new cytotoxic monotetrahydrofuran annonaceous acetogenins, annomuricins a and b, from the leaves of *Annona muricata*. **Journal Natural Products**, v.58, n.6, p. 830 - 836, 1995a.

WU, F.-E.; ZENG, L.; GU, Z.-M.; ZHAO, G.-X.; ZHANG, Y.; SCHWEDLER, J.T.; MCLAUGHLIN, J.L.; SASTRODIHARDJO, S. New Bioactive Monotetrahydrofuran Annonaceous Acetogenins, Annomuricin C and Muricatocin C, from the Leaves of *Annona muricata*. **Journal Natural Products**, v.58, n.6, p. 909–915, 1995b.

WU, F.-E.; ZENG, L.; GU, Z.-M.; ZHAO, G.-X.; ZHANG, Y.; SCHWEDLER, J.T.; MCLAUGHLIN, J.L.; SASTRODIHARDJO, S. Muricatocins A and B, Two New Bioactive Monotetrahydrofuran Annonaceous Acetogenins from the Leaves of *Annona muricata*. **Journal Natural Products**, v.58, n.6, p. 902–908, 1995c.

WU, F.-E.; ZHAO, G.-X.; ZENG, L.; ZHANG, Y.; SCHWEDLER, J.T.; MCLAUGHLIN, J.L.; SASTRODIHARDJO, S. Additional Bioactive Acetogenins, Annomutacin and (2, 4-trans and cis)-10R-Annonacin-A-ones, from the Leaves of *Annona muricata*. **Journal Natural Products**, v. 58, n. 9, p. 1430–1437, 1995d.

ZAHOOR, I.; MIR, T. A.; AYOUB, W. S.; FAROOQ, S.; GANAIE, T. A. Recent applications of microwave technology as novel drying of food – Review. **Food and Humanity**, v. 1, p. 92-103, 2023.

ZENG, L.; WU, F.-E.; MCLAUGHLIN, J. L. Annohexocin, a novel mono-THF acetogenin with six hydroxyls, from *Annona muricata* (annonaceae). **Bioorgan. Med. Chem. Lett.** v. 5, n. 16, p. 1865–1868, 1995.

ZHANG, M.; TANG, J.; MUJUMDAR, A.S.; WANG, S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, n. 10, p. 524-534, 2006.

ZHU, Y.; WANG, P.; SUN, D.; QU, Z.; YU, B. Multiphase porous media model with thermo-hydro and mechanical bidirectional coupling for food convective drying. **International journal of heat and mass transfer**, v.175, 121356, 2021.