



DIEGO SOARES GARRÔCHO DE FARIA

**SECAGEM CONVECTIVA DE BATATA-DOCE
ENRIQUECIDA COM ISOMALTULOSE (PALATINOSE®)
POR DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA: AVALIAÇÃO DOS
PARÂMETROS CINÉTICOS**

**LAVRAS – MG
2023**

DIEGO SOARES GARRÔCHO DE FARIA

**SECAGEM CONVECTIVA DE BATATA-DOCE ENRIQUECIDA COM
ISOMALTULOSE (PALATINOSE®) POR DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA:
AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Irineu Petri Júnior
Orientador

Msc. Paula Giarolla Silveira
Orientadora

**LAVRAS – MG
2023**

DIEGO SOARES GARRÔCHO DE FARIA

**SECAGEM CONVECTIVA DE BATATA-DOCE ENRIQUECIDA COM
ISOMALTULOSE (PALATINOSE®) POR DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA:
AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS**

**CONVECTIVE DRYING OF SWEET POTATO ENRICHED WITH
ISOMALTULOSE (PALATINOSE®) BY OSMOTIC DEHYDRATION:
EVALUATION OF KINETIC PARAMETERS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

Banca: APROVADA em 27 de julho de 2023.

Eng. Matheus de Souza Cruz - UFLA

Msc. Guilherme Mathias Lopes - UFLA

Msc. Paula Giarolla Silveira – UFLA

Prof. Dr. Irineu Petri Júnior - UFLA

**LAVRAS – MG
2023**

*Aos meus pais.
À minha irmã.
À minha vó Hélia.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela força e resiliência infinita!

Agradeço aos meus pais, Eduardo e Flávia, por todo apoio durante essa jornada, que, independentemente de qualquer tempo e dificuldade, sempre me ajudaram e ficaram do meu lado.

Aos meus amigos de república, João, Joaquim e Francisco, por estarem comigo e me incentivar a manter o foco e ser resiliente nessa reta final.

Aos meus amigos de longa data e da graduação, Breno (Seta), Arthur, Chico, Murilo, Patrick (Teko) e Túlio (Blade), por estarem sempre me dando forças, pelas noites viradas, pelos momentos de distração e por serem meus companheiros de estudos.

À minha avó, que mesmo não estando mais nesse plano, que me ajudou e apoiou de todas as formas possíveis até o final.

À Belezinha, minha companheira número um, por ser meu pilar de felicidade e paz.

A todos os professores, principalmente ao Professor Irineu, que foi meu orientador neste trabalho e a Paula, minha coorientadora, também uma grande apoiadora nessa reta final da graduação.

À Universidade Federal de Lavras, ProcEQ Jr., CHOICE e NETEPSE, pelo enorme aprendizado proporcionado durante esses anos que contribuíram imensamente na minha construção pessoal e profissional.

Obrigado a todos.

RESUMO

A secagem é um processo utilizado há séculos para conservar os alimentos, e ainda hoje é amplamente empregada em diversas aplicações. Ao reduzir o teor de água, a secagem é capaz de inibir a deterioração dos alimentos, prolongando sua durabilidade e reduzindo a incidência de deterioração microbiológica. O pré-tratamento na desidratação osmótica promove inicialmente uma perda de água do alimento, o que reduz o tempo necessário para a secagem subsequente. Além disso, a isomaltulose utilizada como o agente osmótico neste trabalho, é um açúcar de baixo índice glicêmico. Ao ser consumida, ela é absorvida mais lentamente, promovendo um aumento gradual dos níveis de açúcar no sangue, fornecendo energia de forma controlada. Portanto, a isomaltulose se apresenta como uma nobre proposta de aprimoramento e enriquecimento da batata-doce. Deste modo, este trabalho objetivou o estudo da secagem de amostras de batata doce, com um pré-tratamento de desidratação osmótica na isomaltulose, com o intuito de obter dados de transferência de massa, da cinética de secagem e avaliação do tempo de secagem com, e sem a desidratação osmótica. O material a ser seco, a batata-doce (*Ipomoea batatas*), é um alimento versátil e nutritivo que pertence à família das Convolvuláceas. A mesma foi proveniente do mercado local que foi submetida a um pré-tratamento de desidratação osmótica por 5 horas em uma BOD, na temperatura de 25°C. Posteriormente, as mesmas eram levadas para uma estufa com circulação e renovação de ar a 70°C. A redução da massa era observada em tempo real através de uma balança acoplada ao equipamento. Na primeira hora, as massas eram registradas de 10 em 10 minutos e de 30 em 30 minutos até o final da secagem. A secagem era interrompida quando a umidade de equilíbrio era atingida. O tratamento com a solução osmótica em 35% de isomaltulose apresentou a maior força motriz de transferência de massa e a maior redução do tempo de secagem em comparação com a secagem *in natura*, atingindo a umidade de equilíbrio com 300 minutos, contra 460 para a secagem das amostras *in natura*. O ganho de sólidos proveniente da incorporação de isomaltulose da solução osmótica foi significativo. As taxas de secagem para as amostras *in natura* submetidas à secagem foram bem maiores quando comparadas àquelas que passaram pela desidratação osmótica, devido à grande quantidade de água presente na primeira e pela incorporação de sólidos causada na segunda.

Palavras-chave: Força motriz; Incorporação de sólidos; Umidade; *In natura*. Taxa de secagem.

ABSTRACT

Drying is a process that has been used for centuries to preserve food, and it is still widely employed in various applications today. By reducing the water content, drying is capable of inhibiting food deterioration, prolonging its shelf life, and reducing the incidence of microbiological deterioration. Pre-treatment in osmotic dehydration initially promotes water loss from the food, which reduces the time required for subsequent drying. Additionally, isomaltulose, used as the osmotic agent in this study, is a low glycemic index sugar. When consumed, it is absorbed more slowly, promoting a gradual increase in blood sugar levels and providing controlled energy release. Therefore, isomaltulose presents itself as a valuable proposition for the improvement and enrichment of sweet potatoes. Thus, this study aimed to investigate the drying of sweet potato samples with a pre-treatment of osmotic dehydration using isomaltulose, in order to obtain mass transfer data, drying kinetics, and evaluate the drying time with and without osmotic dehydration. The material to be dried, sweet potato (*Ipomoea batatas*), is a versatile and nutritious food that belongs to the Convolvulaceae family. The sweet potatoes were obtained from the local market and subjected to a 5-hour osmotic dehydration pre-treatment in a BOD at a temperature of 25°C in 70°C. Subsequently, the samples were placed in a circulating air oven with air renewal. The reduction in mass was observed in real-time using a balance connected to the equipment. In the first hour, the masses were recorded every 10 minutes, and then every 30 minutes until the end of drying. Drying was stopped when the equilibrium moisture content was reached. Treatment with a 35% isomaltulose osmotic solution showed the highest driving force for mass transfer and the greatest reduction in drying time compared to natural drying, reaching equilibrium moisture content after 5 hours of drying, compared to 7 hours and 40 minutes for the naturally dried samples. The incorporation of solids from the isomaltulose osmotic solution was significant. The drying rates for the naturally dried samples were much higher compared to those that underwent osmotic dehydration, due to the large amount of water present in the former and the incorporation of solids in the latter.

Keywords: Driving force; Solid incorporation; Moisture; In natura; Drying rate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tabela TACO de composição da batata-doce.	20
Figura 2 - Curva do tempo de secagem vs teor de umidade.....	23
Figura 3 - Curva do teor de umidade vs taxa de secagem.	23
Figura 4 - Estrutura molecular da isomaltulose.....	27
Figura 5 - Batata-doce na plateleira.....	30
Figura 6 - Painel estufa BOD.	31
Figura 7 - Amostras imersas em solução osmótica no interior da BOD	31
Figura 8 - Amostras de batata-doce fatiadas.	32
Figura 9 - Amostras imersas em solução osmótica	32
Figura 10 - Balança digital.	34
Figura 11 - Acomplamento do suporte à balança.....	34
Figura 12 - Suporte de secagem e secador de bandejas.....	34
Figura 13 - Curvas do ganho de sólido, perda de água e redução de peso vs tempo	35
Figura 14 - Curva da variação de umidade vs tempo	37
Figura 15 - Curva da variação da taxa vs tempo.	38
Figura 16 - Curva taxa de secagem vs umidade (base seca)..	40
Figura 17 - Curva da taxa de Secagem vs umidade livre..	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de ajuste do modelo de Page da cinética de secagem da batata-doce e coeficientes de determinação (R^2).	40
Tabela 2 - Parâmetros de ajuste do modelo de Henderson-Pabis da cinética de secagem da batata-doce e coeficientes de determinação (R^2).	40

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Constante do modelo matemático	[-]
b	Constante do modelo matemático	[-]
h	Tempo de secagem	[h]
k	Constante do modelo matemático	[min^{-1}]
MR	Taxa de secagem	[h^{-1}]
m_s	Massa do sólido seco	[g]
n	Constante do modelo matemático	[-]
n	Número de termos	[-]
RU	Razão de Umidade	[-]
u_{bs}	Umidade em base seca	[kg/kg]
u_{bu}	Umidade em base úmida	[kg/kg]
u^*	Umidade de equilíbrio	[kg/kg]
u	Umidade em um dado tempo	[kg/kg]
u_o	Umidade inicial	[kg/kg]
X	Teor de umidade	[-]

SUBÍNDICES

bs	Base seca
bu	Base úmida
f	Final
i	Inicial
n	Número de termos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	20
3. REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1. Batata-doce	21
3.2. Informações gerais e nutricionais	22
3.3. Desidratação osmótica	23
3.4. Secagem.....	25
3.4.1. Modelos cinéticos de secagem	27
3.4.2. Secagem da batata-doce.....	28
3.5. Isomaltulose.....	29
3.5.1. Aplicações e utilização da isomaltulose	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1. A batata-doce experimentada	32
4.2. Desidratação Osmótica da Batata-doce	33
4.3. Teor de Umidade (M)	35
4.4. Secagem com e sem Desidratação Osmótica	35
4.5. Análise estatística	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1. Transferência de massa e redução de umidade.....	37
5.2. Secagem da batata-doce in natura e com desidratação osmótica	39
5.2.1. Comparação entre métodos	39
5.3. Ajuste dos modelos matemáticos	41
5.4. Taxa de Secagem	42
5.5. Considerações finais e possíveis alterações físicas e sensoriais.....	44
6. CONCLUSÕES.....	46
6.1 Sugestões para trabalhos futuros	46
REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

Originária das Américas, a batata-doce possui uma longa história de cultivo e consumo. Segundo evidências arqueológicas, sua presença remonta a mais de 5.000 anos nas regiões da América Central e América do Sul. Ao longo do tempo, a batata-doce foi introduzida em várias outras regiões do mundo por meio das explorações e intercâmbios comerciais. Atualmente, a batata-doce é cultivada e apreciada em diferentes países, com destaque para China, Índia, Indonésia, Uganda e Nigéria, que são os principais produtores globais. Ela se adapta a diferentes climas e solos, o que contribui para sua popularidade em diversas culturas alimentares (FAO, 2010).

Segundo o IBGE (2021), no Brasil, a produção de batata-doce passou por mudanças significativas ao longo dos anos. Na década de 70, alcançou um volume de aproximadamente 1,6 milhão de toneladas, porém, desde então, houve uma redução constante. Em 2012, a produção chegou a 480 mil toneladas, mas a partir desse ponto começou a se recuperar, atingindo cerca de 805 mil toneladas em 2019. Os principais estados produtores são: Rio Grande do Sul, com 175 mil toneladas, São Paulo, com 140 mil toneladas, e Ceará, com 90 mil toneladas.

A batata-doce é considerada um alimento saudável e é bastante consumida pelas classes de renda mais baixas. Esses alimentos são recomendados pelo Ministério da Saúde em seu Guia Alimentar para a População Brasileira. A batata-doce é atrativa devido à sua facilidade de obtenção, cultivo e outros fatores, sendo um exemplo desses alimentos (EMBRAPA, 2021).

Além da forma *in natura*, a batata-doce também pode ser encontrada em outras formas, como minimamente processada, frita em *chips* ou palha, doce e na forma de farinha. Recentemente, a fécula de batata-doce hidratada, também conhecida como amido ou goma, tem sido comercializada no para consumo na forma de tapioca (EMBRAPA, 2021).

A secagem da batata-doce desempenha um papel significativo global, fornecendo uma solução para a preservação e armazenamento prolongado desse alimento, Através do processo de secagem, a água presente na batata-doce é parcialmente removida, prolongando sua vida útil sem a necessidade de refrigeração. A secagem permite que ela seja armazenada por longos períodos, reduzindo desperdícios e proporcionando o acesso mesmo em épocas de escassez. Além de facilitar o seu transporte e comercialização em regiões distantes (NZIKOU et al., 2010).

A desidratação osmótica (OD) é um processo de desidratação parcial bem estabelecido. Impulsionada por uma diferença de pressão osmótica entre o meio e os produtos, uma

quantidade significativa de água livre é removida de um alimento com alta umidade em um processo de OD (LENART et al., 2016). A desidratação osmótica como pré-tratamento antes da secagem apresenta diversas vantagens. Em primeiro lugar, ela reduz o teor de água do alimento, o que resulta em um tempo de secagem mais curto. Isso contribui para uma maior eficiência energética e um tempo de processamento reduzido, tornando o método mais econômico e ecologicamente sustentável. A combinação da desidratação osmótica como pré-tratamento, seguida pelo processo de secagem, é uma estratégia amplamente adotada na indústria alimentícia. Essa abordagem tem como objetivo obter produtos desidratados de alta qualidade, com maior vida útil e preservação aprimorada de nutrientes e características sensoriais (SACCHETTI et al., 2004).

Tendo em vista a escassez de trabalhos que abordem o estudo empírico do pré-tratamento de desidratação osmótica e secagem posterior de batata-doce, faz-se necessário o desenvolvimento desse projeto. É de extrema importância salientar os benefícios proporcionados ao alimento em questão após o processo como um todo.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar a cinética de secagem de amostras de batata doce, com um pré-tratamento de desidratação osmótica na isomaltulose, com o intuito de obter dados de transferência de massa, da cinética de secagem e avaliação do tempo de secagem com, e sem a desidratação osmótica.

Para alcançar o objetivo geral do trabalho, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Obter as curvas de secagem em função do tempo para as concentrações de 25%, 30% e 35% de isomaltulose na desidratação osmótica.
- Acompanhar a cinética de secagem da batata-doce, avaliando a influência da desidratação osmótica e tempo total para atingir o equilíbrio.
- a partir da lei de Fick.
- Aplicar os modelos matemáticos a fim de analisar a cinética de secagem para os modelos de Page e Lewis.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção será apresentada uma fundamentação teórica dos conceitos mais importantes relacionados à batata-doce, desidratação osmótica, secagem, cinética, secador de bandejas e a Isomaltulose.

3.1. Batata-doce

A batata-doce, de nome científico *Ipomoea batatas L.*, é um vegetal que faz parte da família Convolvulaceae. É reconhecida como uma planta resistente que gera raízes tuberculosas, sendo facilmente cultivada e de baixo custo. Ela também é capaz de se adaptar a diversas condições climáticas e tipos de solo (AZEVEDO et al., 2015). Sua origem remonta à América Central e do Sul, sendo atualmente cultivada em praticamente todos os países do globo. Segundo a atualização do IBGE, foram produzidos no ano de 2022, aproximadamente 825 mil toneladas de batata-doce.

A batata-doce leva vantagem em relação às tuberosas mais comuns, pois apresenta maior teor de matéria seca, que está em torno de 68% (FRANCO et al., 2001).

Pela variedade de ambientes em que pode ser cultivada, a batata-doce está presente de norte a sul do Brasil e seu cultivo pode ser realizado durante todo o ano na maior parte do país. Os últimos dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE mostram que 53,5 mil hectares de batata-doce foram colhidos no Brasil em 2017.

Do ponto de vista agrônômico, a batata-doce é uma planta de cultivo altamente adaptada, possui um plantio simples e pode ser cultivada em diversas condições climáticas. Ela apresenta alta tolerância à seca e baixo custo de produção. Considerada uma espécie rústica, a batata-doce pode ser cultivada em solos que são limitantes para outras culturas mais exigentes. No entanto, no Brasil, a produtividade da batata-doce é considerada baixa, principalmente devido ao pouco conhecimento dos agricultores em relação ao seu manejo e à adoção materiais genéticos inadequados. Muitos dos genótipos utilizados são suscetíveis a doenças e pragas, o que compromete sua produtividade (EMBRAPA, 2021).

No Brasil, a batata-doce ainda enfrenta desafios em seu potencial produtivo devido ao baixo valor agregado que esse alimento possui. A maior parte da colheita é vendida por meio do comércio varejista de alimentos básicos. No entanto, os centros de pesquisa agropecuária brasileiros, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), estão investindo em programas de melhoramento genético de variedades de batata-doce para desenvolver plantas adequadas ao solo brasileiro, com características produtivas e nutricionais satisfatórias (SOUSA et al., 2019).

O lote classificado de batata-doce é caracterizado pelo grupo varietal, tamanho e qualidade. Os compradores exigem que o produto esteja limpo, sem manchas nem podridões, sem injúrias físicas e separados de acordo com o tipo e faixas de peso e tamanho. Não há ainda exigências nutricionais do mercado. Os grupos mais consumidos são a amarela e a rosada. Alguns entrevistados acreditam que houve aumento do consumo de batata-doce por causa de propagandas relacionadas com a moda da alimentação “*fitness*” (CEAGESP, 2021).

3.2. Informações gerais e nutricionais

De acordo com o EMBRAPA (2021), a produtividade média nacional da batata-doce apresenta um grande crescimento ao longo dos anos com valor de 14,5 toneladas em 2017. O aumento da produtividade é resultado da adoção de tecnologias de produção recomendada para a cultura, além da utilização de cultivos com maior potencial produtivo e a utilização de mudas sadias para o plantio, que responda ao uso de práticas adequadas de produção.

As informações nutricionais da batata-doce podem variar ligeiramente dependendo da variedade e do método de preparação. De acordo com a tabela TACO (Tabela Brasileira de Composição de Alimentos), ela pode ser considerada relativamente baixa em calorias. Em média, 100 gramas de batata-doce crua fornecem cerca de 118 calorias.

A batata-doce é uma excelente fonte de carboidratos complexos, que são absorvidos lentamente pelo organismo por consequência do baixo índice glicêmico do alimento, proporcionando energia sustentada. Cerca de 100 gramas de batata-doce contêm aproximadamente 28 gramas de carboidratos. Também é rica em fibras alimentares, que são importantes para a saúde digestiva. Aproximadamente 100 gramas de batata-doce contêm cerca de 2,6 gramas de fibras. Estando crua, sua umidade é em torno de 70% (TACO, 2004). Na Tabela 1, as informações a respeito da composição centesimal da batata-doce são apresentadas de forma detalhada.

Figura 1 – Tabela de composição da batata-doce por 100 gramas de parte comestível: Centesimal, minerais, vitaminas e colesterol.

Número do Alimento	Descrição dos alimentos	Umidade (%)	Energia		Proteína (g)	Lipídeos (g)	Colesterol (mg)	Carbo- idrato (g)	Fibra Alimentar (g)	Cinzas (g)	Cálcio (mg)	Magnésio (mg)
			(kcal)	(kJ)								
88	Batata, doce, cozida	80,4	77	321	0,6	0,1	NA	18,4	2,2	0,4	17	11
89	Batata, doce, crua	69,5	118	495	1,3	0,1	NA	28,2	2,6	0,9	21	17

Fonte: Tabela TACO (2004).

3.3.Desidratação osmótica

A desidratação pode ser descrita basicamente como um processo que consiste em remover a maior parte da água que está presente em determinado alimento. A mesma prossegue até o momento em que o teor de umidade do alimento seja reduzido pelo menos em 5%. Assim, o alimento desidratado tem o aumento da sua vida de prateleira, custo reduzido com sua embalagem visto que o volume e o peso são reduzidos, facilitando também o transporte e armazenamento (NESPOLO et al., 2015).

Na desidratação osmótica, a transferência de massa é governada pelo mecanismo hidrodinâmico, que envolve a entrada de líquido externo através dos poros capilares, controlada pela expansão/compressão do gás interno. Na fase inicial, a pressão interna da água nos espaços intercelulares (poros) é menor que a pressão atmosférica, permitindo que o líquido externo penetre nos alimentos por capilaridade até que o equilíbrio de pressão seja alcançado. Ao aplicar condições de vácuo (pressão de vácuo entre 50-100 mbar), a pressão fora dos poros diminui e, portanto, o gás interno se expande e flui parcialmente para fora, enquanto o sistema tende às condições de equilíbrio. Ao restaurar a pressão atmosférica, o gás residual é comprimido e o novo gradiente de pressão estabelecido provoca a introdução de líquido externo nos espaços intercelulares onde o gás (ar) estava antes. Para obter os melhores resultados durante essa última etapa, as condições atmosféricas são mantidas por um certo tempo, que deve ser otimizado para cada produto. As mudanças de pressão também podem causar deformações no produto devido às propriedades viscoelásticas de sua matriz sólida (VIEIRA et al., 2008).

Essa alternativa de desidratação é considerada um pré-tratamento que permite obter produtos com umidade intermediária ou prepará-los para outros tratamentos finais, como secagem, congelamento ou embalagem, a fim de conservá-los por mais tempo. Essa técnica apresenta várias vantagens, incluindo a redução das perdas de características sensoriais do alimento, melhorias na textura, aumento da estabilidade dos pigmentos, modificação da relação açúcar-acidez e economia de energia nos tratamentos finais. Além disso, contribui para a redução da umidade, dos custos com embalagem e transporte. Como etapa de pré-processamento, a desidratação osmótica também ajuda a reduzir o consumo de energia nas etapas subsequentes (RAOULT-WACK, 1994).

A melhoria na qualidade do produto pode ser atribuída ao uso de temperaturas moderadas, geralmente baixas em comparação a outros métodos (aproximadamente 25 °C). Nesse caso, a água é removida do produto sem alteração de fase, preservando a estrutura celular dos vegetais. A ausência de mudança de fase durante a remoção da água na fase líquida torna a

transferência de massa e calor mais eficiente, facilitando os processamentos realizados após a desidratação osmótica (RAOULT-WACK, 1994).

Um ponto a se analisar, é o encolhimento de pedaços (amostras) de alimentos durante a secagem por ar quente, que tem um efeito negativo na qualidade dos alimentos desidratados. Esse fenômeno é particularmente importante para frutas e vegetais, afetando não apenas a taxa de secagem, mas também as propriedades físicas e funcionais do material desidratado (DEL VALLE, 1998).

Segundo Raoulth-Wack (1994), como resultado da desidratação osmótica em condições típicas, os alimentos podem perder quantidade significativa de água (40 ± 70 g a cada 100 g de massa inicial), enquanto absorvem quantidades limitadas e controladas de agente osmótico (5 ± 25 g a cada 100 g de alimento) em um período relativamente curto (2 horas).

A desidratação osmótica com açúcar é um processo utilizado na indústria de alimentos para remover a água dos tecidos dos alimentos por imersão em soluções concentradas de açúcar. Ela oferece benefícios como a retenção de nutrientes, sabor e textura, além de contribuir para a inibição do crescimento microbiano. A presença do açúcar na solução também pode conferir propriedades de conservação, como proteção contra pigmentação e alterações durante o armazenamento (RIZVI et al., 2017).

De forma semelhante aos experimentos realizados nesse trabalho, nos experimentos de secagem de pedaços de maçã realizados por Del Valle (1998), as condições de temperatura do ar foram ajustadas e o peso da amostra foi registrado periodicamente durante os experimentos de secagem por ar. Para os experimentos em temperatura média e alta, o ar foi ajustado para 50 ou 80°C usando aquecedores elétricos e não houve reciclagem do ar (a umidade relativa do ar estava sempre abaixo de 20%). As amostras foram retiradas periodicamente do equipamento, pesadas em uma balança e colocadas novamente na câmara de secagem sem interrupções no fluxo de ar. Conforme esperado, as perdas de água durante a desidratação osmótica foram maiores para concentrações mais elevadas de açúcares, aumentando de 11 ± 27 g de água/100 g de amostra inicial para imersão em soluções de açúcar a 25%, para 48 ± 65 g de água/100 g de amostra inicial para imersão em soluções de açúcar a 50±70%. No presente projeto, para amostras de batata-doce em soluções de açúcar (isomaltulose) a 35% (a mais elevada no caso desse trabalho), como esperado, também houve as maiores perdas de água durante a desidratação osmótica, comparando às triplicatas em 25% de açúcar em solução.

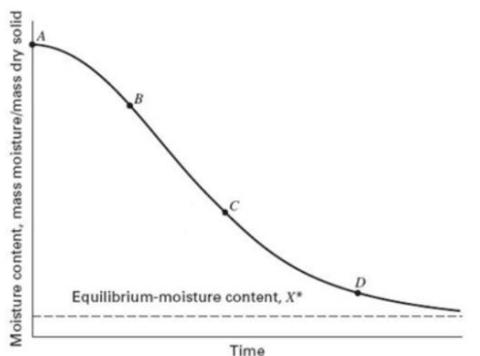
3.4. Secagem

A secagem é uma das técnicas mais antigas para preservar alimentos, geralmente alcançada ao remover a umidade. No entanto, qualquer método que reduza a quantidade de água disponível em um alimento é considerado uma forma de secagem. A diminuição da água livre no alimento aumenta a pressão osmótica do ambiente e, conseqüentemente, diminuindo as condições do meio para o desenvolvimento de micro-organismos. Portanto, as enzimas responsáveis por certas alterações nos alimentos também têm suas atividades afetadas (MACEDO, 2015).

De forma geral, os alimentos podem passar pelo processo de desidratação utilizando o ar, vapor superaquecido a vácuo, gás inerte e aplicação direta de vapor. Dentre essas opções, o ar é o método mais comumente utilizado devido à sua abundância, conveniência, baixo custo e capacidade de controle do superaquecimento dos alimentos (MACEDO, 2015).

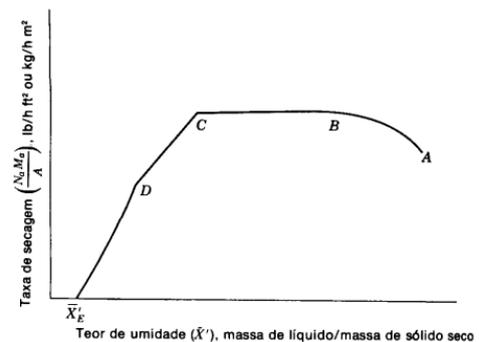
No processo secagem propriamente dito, na Figura 1 ilustrada, demonstra qualitativamente a curva típica da taxa de secagem (R), em função do teor de umidade (X) em base seca. Na Figura 2 ilustrada, demonstra a taxa de secagem típica em condições constantes.

Figura 2 – Curva do tempo secagem vs umidade.



Fonte: Foust et al. (2011).

Figura 3 – Curva do teor de umidade vs taxa de secagem.



Fonte: Foust et al. (2011).

A taxa de secagem é representada pela Equação 1.

$$R = -\frac{d\bar{X}}{d\theta} \quad (1)$$

Sendo: R , a taxa de secagem de uma superfície unitária; $d\bar{X}/d\theta$, teor de umidade em função do tempo (Foust et al., 2011).

O teor de umidade, *moisture ratio* (MR) é representado pela Equação 2.

$$MR = \frac{\bar{X} - X^*}{X_0 - X^*} \quad (2)$$

Sendo: \bar{X} é o teor de umidade livre em base seca no material; X_0 é o valor correspondente à umidade livre inicial; X^* é o a umidade de equilíbrio.

Produtos que contêm água se comportam de maneira diferente durante a secagem, de acordo com seu teor de umidade. Durante a primeira etapa da secagem na qual a água evaporada é a que se encontra mais próximo à superfície da batata-doce, a taxa de secagem é constante (Figura 2; Ponto D). A superfície contém umidade livre. A vaporização ocorre a partir dessa superfície e pode ocorrer alguma contração à medida que a umidade é puxada de volta em direção à superfície sólida. Nessa fase da secagem, o passo que controla a taxa de secagem é a difusão do vapor de água na interface ar-umidade e a taxa na qual a superfície para difusão é removida. No final do período de taxa constante, a umidade precisa ser transportada de dentro do sólido para a superfície por forças capilares e a taxa de secagem ainda pode ser constante (MUJUMDAR, 2006).

Ao continuar a secagem (caminhando para o período de taxa constante e decrescente), a velocidade com que a umidade pode se mover através do sólido, como resultado de gradientes de concentração entre as partes mais profundas e a superfície, é o passo de controle. A transmissão do calor agora consiste em sua transferência para a superfície e condução de calor no produto. Uma vez que a profundidade média do nível de umidade aumenta progressivamente e, a condutividade térmica das zonas externas secas é muito pequena, a taxa de secagem é cada vez mais influenciada pela condução de calor. No entanto, se o produto seco tiver uma densidade relativamente alta e poros muito pequenos, a secagem será determinada por uma alta resistência à difusão de dentro do produto. A taxa de secagem é controlada pela difusão de umidade de dentro, para a superfície e, em seguida, pela transferência de massa a partir da superfície (MUJUMDAR, 2006).

Adentrando um pouco mais na cinética de secagem de um material poroso, o mesmo contém uma rede emaranhada de poros e canais interligados, cujas seções transversais variam consideravelmente. Na superfície, estão as aberturas dos poros de tamanhos variados. À medida que a água é removida por vaporização, é formado um menisco em cada poro, o qual gera forças capilares devido à tensão interfacial entre a água e o sólido. As forças capilares possuem componentes na direção perpendicular à superfície do sólido. São essas forças que fornecem a força motriz para o movimento da água através dos poros em direção à superfície (MCCABE, 1993).

A cinética de secagem desempenha um papel significativo na seleção de secadores. Além de simplesmente decidir o tempo de residência necessário, ela limita os tipos de secadores adequados. A localização da umidade (seja próxima à superfície ou distribuída no material), a

natureza da umidade (livre ou fortemente ligada ao sólido), os mecanismos de transferência de umidade (etapa limitante da taxa), o tamanho físico do produto, as condições do meio de secagem (por exemplo, temperatura, umidade, taxa de fluxo de ar quente em um secador por convecção), pressão no secador (baixa para produtos sensíveis ao calor), etc., têm influência sobre o tipo de secador adequado, bem como as condições operacionais. Na maioria das vezes, é provável que apenas um tipo de secador atenda aos critérios de seleção especificados (MUJUMDAR, 2006).

3.4.1. Modelos cinéticos de secagem

Existem alguns modelos matemáticos que são utilizados para prever o tempo de secagem de determinados sólidos. Eles servem de representação para a secagem desses produtos. Os modelos cinéticos de secagem não levam em consideração os efeitos das interações por parâmetros diferentes do tempo de secagem. Modelos que incorporam um grande número de variáveis ainda não existem, devido à complexa relação não linear entre a cinética de secagem e as variáveis relacionadas. O conceito de modelos de secagem para caracterizar o comportamento de secagem foi sugerido inicialmente por Lewis, que derivou o modelo semi-teórico para materiais porosos higroscópicos, análogo à lei do resfriamento de Newton, representado pela Equação 3 (INYANG et al., 2018).

$$MR = \frac{X-X_e}{X_0-X_e} = \exp(-kt) \quad (3)$$

Onde:

MR: é a razão de umidade;

X: teor de umidade;

X_e : teor de umidade no equilíbrio;

X_0 : teor de umidade inicial;

k : é a constante de secagem;

t : tempo de secagem.

Posteriormente, com o objetivo de estudar o comportamento durante a secagem de grãos de milho, Page modificou o modelo de Lewis ao adicionar uma constante empírica adimensional (n), como representada pela Equação 4.

$$MR = \frac{X-X_e}{X_0-X_e} = \exp(-kt^n) \quad (4)$$

Posteriormente, para a secagem de batata-doce especificamente, Diamante e Munro (1993), modificaram o modelo de Page, representado pela Equação 5.

$$MR = \frac{X-X_e}{X_0-X_e} = \exp\left(-k\left(\frac{t}{l^2}\right)^n\right) \quad (5)$$

Onde:

l : é uma constante empírica adimensional.

Esses modelos são apenas modificações de um modelo ou de outro, tendo como base o modelo de Newton (Lewis) ou o modelo de Page. Eles visam superar as limitações um do outro. Os modelos têm sido encontrados para descrever com sucesso o comportamento de secagem (cinética) de diferentes tipos de frutas e vegetais (INYANG et al., 2018).

O modelo de Henderson-Pabis (1961) é amplamente utilizado para descrever o processo de secagem de alimentos e outros materiais e é baseado na equação diferencial de balanço de massa para a taxa de secagem, conforme representado pela Equação (6).

$$RU = a \exp(-kt) \quad (6)$$

em que: RU é a razão de umidade (adimensional); k, a, são constantes do modelo e t é o tempo em minutos.

Os modelos de Page (1949) e de Henderson-Pabis (1961) são modelos empíricos bastante utilizados para a representação da secagem de produtos agrícolas (PESSOA et al. (2011). Portanto, para esse trabalho, será buscado o melhor ajuste dos dados coletados de secagem da batata-doce em referência à esses modelos.

3.4.2. Secagem da batata-doce

Segundo EMBRAPA (2021), em uma de suas pesquisas que foi conduzida, chegou à conclusão de que secar a batata-doce em estufa, preserva melhor seus compostos antioxidantes. Durante o experimento, o processamento térmico (secagens em estufa e liofilização) propiciou perdas de antocianinas e compostos fenólicos, mas a maior perda desses compostos, considerando também a alteração na coloração, foi proporcionada pelo método de liofilização. A secagem por estufa consistiu no método mais indicado para a produção de farinha de batata-doce por exemplo.

No trabalho de Gonçalves (2021), na qual foi avaliada a cinética de secagem de batatas-doces biofortificadas, o processo também foi realizado em estufas para diferentes temperaturas. Em um outro trabalho de Ramalho (2018), no qual foi analisada a cinética de secagem da batata-doce por diferentes técnicas, o processo também foi conduzido em estufas, só que em vários tipos, afins comparativos. A secagem foi conduzida em uma estufa à vácuo, considerando que dessa forma, o teor de umidade da batata-doce seria reduzido ainda mais, após o pré-tratamento de desidratação osmótica na isomaltulose, ainda preservando a integridade física do produto, sabor e coloração.

A secagem por ar quente é um método tradicional utilizado para preservar alimentos,

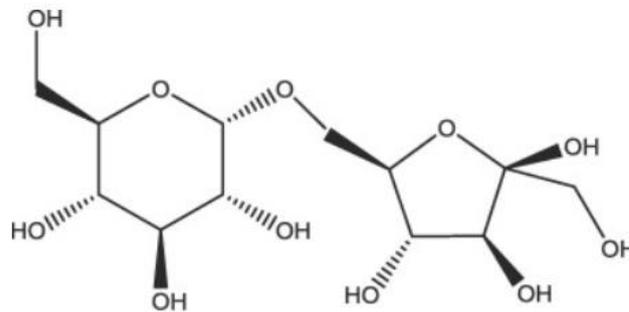
no qual o material sólido a ser desidratado é exposto a um fluxo contínuo de ar aquecido, permitindo que a umidade evapore (RATTI, 2001).

A utilização da circulação forçada de ar aquecido no processo promove a remoção mais rápida e eficiente da umidade presente nos alimentos, resultando em tempos reduzidos de secagem para frutas e hortaliças. Esse sistema é projetado de forma hermética, permitindo a distribuição uniforme do ar aquecido através de uma peneira, garantindo que o produto seja desidratado de maneira homogênea (TEBCHERANI et al., 2010).

3.5. Isomaltulose

A isomaltulose ou Palatinose, é um tipo de dissacarídeo composto em glicose e frutose ligadas por uma ligação glicosídica alfa-1,6. O baixo índice glicêmico que esse carboidrato possui, é de 32, atribuído à sua hidrólise lenta da ligação glicosídica alfa-1,6, pelo complexo sucrase-isomaltase, localizado na membrana das células do intestino delgado (LINA et al., 2002).

Figura 4 – Estrutura molecular da isomaltulose.



Fonte: SHYAM et al., 2019.

A Isomaltulose é considerada um açúcar raro, isômero da sacarose que é digerido mais lentamente devido às ligações α -1,6 que ligam os componentes glicose e frutose. Essas ligações são mais resistentes à hidrólise em comparação às ligações α -1,2 presentes na sacarose. Além disso, a isomaltulose não é hidrolisada na boca, o que a torna não cariogênica. Embora a isomaltulose tenha um perfil de sabor semelhante ao da sacarose, os seres humanos a consideram apenas cerca de metade doce. Para compensar sua doçura reduzida, a isomaltulose pode ser combinada com um edulcorante não nutritivo em produtos alimentícios. Embora a isomaltulose tenha o mesmo valor calórico da sacarose (4 kcal/g), ela é considerada uma opção mais saudável devido à sua digestão mais lenta, que resulta em níveis mais baixos de glicose e insulina no sangue, além de potencialmente proporcionar maior saciedade (SCLAFANI et al.,

2023). Além disso, quaisquer edulcorantes alternativos usados devem manter propriedades organolépticas, nutricionais e funcionais semelhantes, como doçura e adequação como agente de volume, às do açúcar. A isomaltulose é um exemplo recente de um ingrediente alternativo de carboidrato que atende a esses critérios (SAWALE et al., 2017).

Alimentos com baixo índice glicêmico e baixa resposta de insulina são considerados favoráveis, pois podem contribuir para uma sensação prolongada de saciedade e liberação de energia sustentada, com possíveis implicações para o desempenho físico e mental (Stephen, Parco, Andy Loka, & John Morris, 2008).

3.5.1. Aplicações e utilização da isomaltulose

O sabor e a aparência da isomaltulose são semelhantes aos da sacarose, enquanto seu poder adoçante é aproximadamente a metade. As soluções aquosas de ambos os açúcares apresentam viscosidades semelhantes. A isomaltulose derrete a uma temperatura mais baixa em comparação com a sacarose e é mais estável em condições ácidas. Em altas temperaturas, ela forma produtos condensados devido à liberação de água, de maneira semelhante à sacarose e outros açúcares. No geral, as propriedades físico-químicas da isomaltulose permitem que ela substitua a sacarose em diversos alimentos doces. A isomaltulose é resistente à hidrólise ácida e, portanto, é mais estável em alimentos acidificados do que a sacarose. Mesmo em pH 2,0, cerca de 20% das soluções de isomaltulose não sofrem hidrólise após fervura por uma hora. Ela possui uma estabilidade térmica ligeiramente inferior à da sacarose (KAGA e MIZUTANI, 1985).

A isomaltulose pode ser usada para aumentar a desintegração de comprimidos de bebidas instantâneas. Com a ajuda da tecnologia estabelecida de cubos de açúcar ou combinada com uma etapa de secagem a vácuo, esses produtos podem ser preparados como "flutuantes" ou "afundantes" (SAWALE et al., 2017).

De acordo com um experimento conduzido por Hwang et al. (2018), para investigar as alterações nos índices de saúde no soro de camundongos alimentados com palatinose durante 5 semanas, foram coletadas amostras de sangue para medição dos níveis de glicose, insulina, TG, TCHO e HDL-C. A glicose foi medida pelo método de teste de tolerância oral à glicose, em que os camundongos receberam glicose oralmente e o soro foi coletado durante 3 horas. Enquanto os camundongos alimentados com sacarose mantiveram um nível mais elevado de glicose, não foram observadas diferenças entre o grupo alimentado com dieta controle e o grupo alimentado com palatinose. O grupo alimentado com sacarose e o grupo alimentado com palatinose mostraram uma área sob a curva (AUC) 3,5 vezes e 1,5 vezes maior,

respectivamente, do que o grupo alimentado com dieta controle. O nível de insulina também refletiu a condição diabética, em que o grupo alimentado com sacarose apresentou níveis significativamente mais altos (2,2 vezes) de insulina do que o grupo alimentado com dieta controle, enquanto os camundongos alimentados com isomaltulose mostraram níveis significativamente mais baixos em relação aos camundongos alimentados com sacarose. Em relação à lipogênese hepática e à homeostase do colesterol nos camundongos, os níveis de TCHO e HDL-C apresentaram diferenças significativas entre os grupos, enquanto os níveis de TG não foram muito diferentes.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste segmento, serão descritos os detalhes de como foi conduzido todo o experimento, onde são especificados os critérios de seleção das batatas-doces e o protocolo experimental. Além disso, é explicado o processo de preparação do material que será submetido à desidratação osmótica e à secagem.

4.1.A batata-doce experimentada

As batatas-doces utilizadas nesse projeto (Figura 4), foram as com variedade de poupa branca e casca roxa, considerada uma raiz tuberosa pertencente à família *Convolvulaceae*, nome científico *Ipomoea batatas*, tipo BRS Rubissol (nome comercial), de acordo com EMBRAPA (2021).

Figura 5 – Batata-doce (*Ipomoea batatas*).



Fonte: do próprio autor (2023).

Geralmente, elas apresentam um formato longo e cheio. Como critério de seleção, aquelas que possuíam maiores tamanhos e corpos de maiores diâmetros, eram as escolhidas, visto que seria possível produzir várias amostras através de uma fatia, otimizando o corte e o tratamento das pequenas amostras. Todas as batatas-doces eram compradas no mesmo lugar exatamente um dia antes do dia do experimento. Elas eram compradas frescas logo após a reposição no Supermercado REX em torno das 9 da manhã e mantidas fora da geladeira para que não houvesse alteração em sua umidade antes da realização do experimento. A refrigeração poderia causar uma desidratação da batata-doce caso armazenada por um período prolongado.

4.2. Preparo da matéria-prima

Pensando em preservar as características de cor e textura da batata-doce nesse processo, será feito um pré-tratamento em solução de ácido cítrico a 1% por 3 minutos. Essa imersão e a passagem das amostras em uma solução do ácido cítrico é muito importante, pois essa solução é capaz de bloquear a ação das enzimas chamadas polifenoloxidasas que oxidam os alimentos e assim, acabam adquirindo uma coloração mais escura e com manchas.

4.3. Desidratação Osmótica da Batata-doce

Já com a batata-doce cortada e tratada no ácido cítrico, todas as fatias serão levadas para a BOD a 25°C, em um recipiente com Isomaltulose a 25% por 5 horas e posteriormente encaminhadas para um secador de bandejas. O mesmo procedimento é realizado também com a Isomaltulose a 30% e 35%. Nesse trabalho, sem que seja necessário a retirada das amostras do secador, através da balança externa será possível determinar a alteração da massa ao longo do tempo para a construção da curva que analisa a cinética de secagem do processo.

Figura 6 – Incubadora BOD a 25°C



Fonte: do próprio autor (2023).

Figura 7 – Amostras imersas em solução osmótica de isomaltulose.



Fonte: do próprio autor (2023).

A desidratação osmótica (DO) na Isomaltulose, representa a etapa de desidratação da batata-doce no experimento que antecede a secagem. Nesta etapa, as amostras serão submetidas a um processo que ocasionará em uma redução da sua umidade e a concentração do açúcar. Pensando em preservar as características de cor e textura da batata-doce nesse processo, será feito um pré-

tratamento em solução de ácido cítrico a 1% por 3 minutos. Essa passagem das amostras pela solução do ácido cítrico é muito importante, pois essa solução é capaz de bloquear a ação das enzimas chamadas polifenoloxidasas que oxidam os alimentos e assim, acabam adquirindo uma coloração mais escura e com manchas. Em prol de um melhor aproveitamento do tempo de permanência na no laboratório, antes que os cortes fossem iniciados, todos os “cadinhos” de alumínio e os recipientes nos quais as batatas seriam submergidas em solução osmótica, foram devidamente etiquetados e ordenados, da esquerda pra direita, em fileiras de 5 em 5 amostras. As batatas foram fatiadas com o auxílio de um mandoline (fatiador de legumes) e, utilizando um molde, foram cortadas em 40 (quarenta) pequenos "quadrados" com espessura mínima de 4mm e máxima de 4,5mm.

As pequenas amostras foram imergidas na solução de ácido cítrico a 1% por 3 minutos e, posteriormente, suas superfícies foram secadas no papel toalha (apenas o excesso). Todas as fatias foram pesadas e submergidas uma a uma, nos pequenos recipientes separados e ordenados previamente, preenchidos com uma solução de isomaltulose a 25%. Nas Figuras 8 e 9, pode-se observar as fatias de batata-doce com o excesso de água da sua superfície drenada pelo papel, e as mesmas imergidas na solução osmótica, respectivamente.

Nesta etapa, espera-se que parte da água presente em cada amostra, seja removida. Isso fará com que o tempo da secagem que será realizada posteriormente, seja reduzido. No próximo tópico deste trabalho será possível compreender e comprovar a redução do tempo de secagem ocasionado pelo pré-tratamento de desidratação osmótica.

O ganho de sólidos (SG), perda de água (WL) e a redução de peso (WR), foram calculados de acordo com as Equações 6, 7 e 8.

$$SG(\%) = \frac{W(1-M_t) - W_0(1-M_0)}{W_0} * 100 \quad (6)$$

$$WL(\%) = \frac{W_0M_0 - W_tM_t}{W_0} * 100 \quad (7)$$

$$WR(\%) = \frac{W_0 - W_t}{W_0} * 100 \quad (8)$$

Onde W é o peso da amostra (kg); M é o teor de umidade da amostra (kg água por kg amostra); os sub-índices “0” e “t” indicam os tempos inicial e tempo calculado, respectivamente.

Figura 8 – Amostras pós-tratadas em ácido cítrico.



Fonte: do próprio autor (2023).

Figura 9 – Amostras imersas em solução de isomaltulose.



Fonte: do próprio autor (2023).

Todas as amostras foram levadas para a BOD a 25°C e retiradas em grupos de 5 nos tempos de 20, 40, 60, 90, 120, 180, 240 e 300 minutos. As remessas retiradas foram imediatamente imergidas em água gelada por 10 segundos para interromper a atividade osmótica de transferência, secadas no papel toalha e pesadas. Após isso, foram colocadas nos "cadinhos" de alumínio e levadas à estufa à vácuo por 24h a 70°C. Após às 24h, as amostras foram pesadas novamente. O procedimento foi realizado em triplicatas e também para a solução de Isomaltulose a 30% e 35%, totalizando 9 (nove) experimentações.

4.4. Teor de Umidade (M)

O Teor de Umidade das amostras foi determinado pelo método gravimétrico, utilizando uma estufa a 70°C sob vácuo (AOAC, 2010), de acordo com o método 934.06.

4.5. Secagem com e sem Desidratação Osmótica

Na segunda etapa do experimento, será realizada a secagem. Nessa fase do experimento, as amostras de batata-doce já previamente preparadas e tratadas na solução de ácido cítrico a 1%, passarão pelo mesmo processo explicado anteriormente de desidratação osmótica e, na sequência, serão submetidas ao processo de secagem propriamente dito em um secador de bandejas da SOLAB, modelo SL-102. O ar de secagem no interior da estufa circula à 70°C na velocidade de 1,72 m/s, medido com o auxílio de um anemômetro. Neste equipamento, existe

um pequeno orifício na parte superior que permite o acoplamento à uma balança digital, do suporte para as amostras que permanece no interior do secador. A balança utilizada no experimento foi a Marte AD500 com precisão de milésima parte (0,001 g). Afins de conferência, no início e no fim da experimentação de secagem, a massa total das amostras era pesada novamente em uma outra balança, dessa vez uma EVEN LCD Series com a mesma precisão de milésima parte.

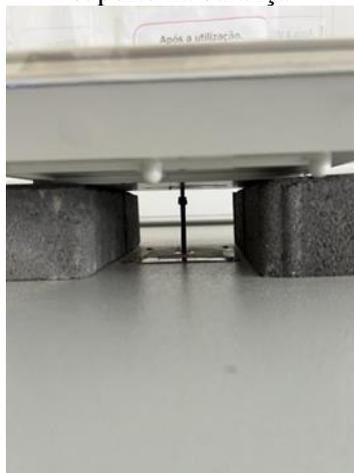
Durante o processo de secagem, a variação da massa era computada ao longo do tempo. O critério de parada utilizado foi pela observação de quando a massa começava a variar de uma forma não significativa (última casa decimal de 10^{-3}) por 3 tempos consecutivos, indicando também a taxa de secagem (MR), igual a 0.

Figura 10 – Balança digital.



Fonte: do próprio autor (2023).

Figura 11 – Acoplamento do suporte na balança.



Fonte: do próprio autor (2023).

Figura 12 – Suporte com as batatas no interior do secador.



Fonte: do próprio autor (2023).

4.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos aos modelos de Page e, Henderson e Pabis, para comparação visando o melhor ajuste com o auxílio do software Statistica 10 Enterprise.

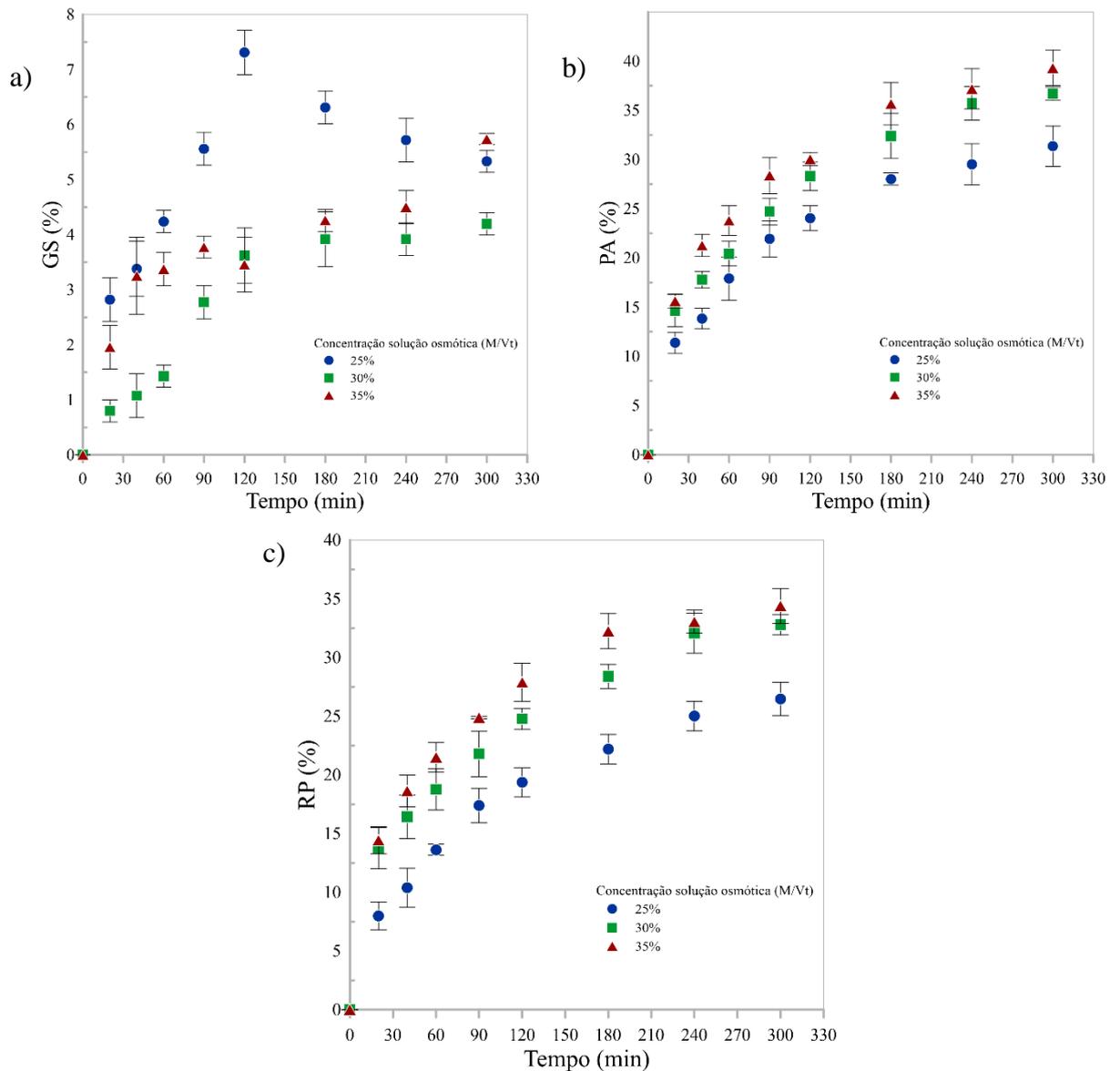
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, os resultados experimentais da desidratação osmótica em solução de isomaltulose foram investigados e analisados. Os parâmetros específicos foram minuciosamente examinados em diferentes intervalos de tempo, conforme será explicado a seguir.

5.1. Transferência de massa e redução de umidade

Os dados obtidos para o ganho de sólidos (SG), perda de água (WL) e redução de peso (WR) durante a etapa de desidratação osmótica e vácuo a 70° são apresentados nas Figura 13.

Figura 13 – Ganho de sólidos (a), perda de água (b) e redução de peso (c) no processo de desidratação osmótica.



Fonte: do próprio autor (2023).

É clara a observação que ao longo dos dias experimentados, juntamente com o aumento da concentração da solução osmótica de isomaltulose, a perda de água nas primeiras horas aumentou significativamente. Enquanto nos primeiras dias (isomaltulose a 25%), a perda de sólidos das primeiras amostras após 20 minutos, se apresentaram em torno de 10%, quando fazemos uma comparação direta com os últimos dias de experimento (isomaltulose a 35%), a perda de sólidos das primeiras amostras retiradas já apresentava magnitudes em torno de 15%.

Para uma melhor compreensão do impacto da perda de água sob a umidade do material, as batatas apresentavam uma umidade inicial em torno de 80% em base úmida. Para as amostras submetidas à desidratação pela solução osmótica de baixa concentração de isomaltulose (25%), nas primeiras duas horas a umidade já se apresentava em torno de 61%. Para as batatas-doces que foram submetidas à desidratação pela solução osmótica mais concentrada (35%), a esse tempo elas já apresentavam uma perda de água em torno de 30%, com sua umidade em base úmida em torno de 56%.

O ganho de sólidos durante a desidratação osmótica varia com a concentração da solução osmótica utilizada. Para altas concentrações de isomaltulose, houve uma incorporação significativa em torno de 5,7% no final do tratamento, contra 4% para a solução de menor concentração. Em baixas concentrações (25%) houve um pico em 120 minutos. Entretanto, esperava-se um comportamento constante após isso, indicando que os próximos pontos caindo bruscamente para menores magnitudes, são *outliers*. Quando se utiliza concentrações baixas de açúcar, o ganho de sólidos tende a ser relativamente baixo. Isso ocorre porque a diferença de concentração entre o alimento e a solução é menor, o que limita a transferência de sólidos para o alimento (MUJUMDAR, 2006).

A variação da redução de peso apresentada pela Figura 13-c, pode ser relacionada diretamente à perda de água durante o processo de desidratação osmótica. Entretanto, essa curva apresentou um comportamento similar ao gráfico da Figura 13-b, com a maior perda de peso da amostra submetida à solução mais osmótica mais concentrada (em torno de 34%).

Pode-se observar no gráfico da Figura 13, tanto para GS, PA e RP, ao final do processo nos 300 minutos, os maiores valores de ganho de sólido, perda de água e redução de peso, foram obtidos com a solução osmótica mais concentrada, como também observado em outros trabalhos por Macedo (2021), Ferrari et al. (2011) e por Mello et al. (2019).

Para os valores não inclusos nos ajustes dos dados (*outliers*), suspeita-se que as batatas com a coloração afetada e/ou com a espessura diferente das demais, são as que apresentaram valores absurdos para perda de sólidos e umidade. Ademais, as batatas-doces que foram utilizadas e que estavam armazenadas na geladeira, apresentaram ligeiramente uma maior resistência à

perda de umidade. Acredita-se que antes do pré-tratamento da DO, ela já havia perdido um pouco de água durante a sua refrigeração. Mas nada que interferisse nos resultados posteriormente obtidos.

Os resultados indicam uma tendência na diminuição da umidade à medida que aumenta a concentração da solução de isomaltulose. O aumento da concentração da solução do soluto influenciou positivamente na remoção de água da batata-doce, como notado também no trabalho de Macedo (2021), pois para maiores concentrações da solução osmótica, maior é a força motriz pelo gradiente de pressão em relação ao produto. Mesmo que quanto mais água é removida da amostra, mais difícil vai ficando a diminuição da umidade ao longo do tempo, visto que ao final do tempo, resta remover a água presente nas partes mais profundas da amostra. A água presente mais próxima à superfície da batata-doce é removida mais facilmente, como mostram os resultados nas primeiras duas horas de desidratação osmótica.

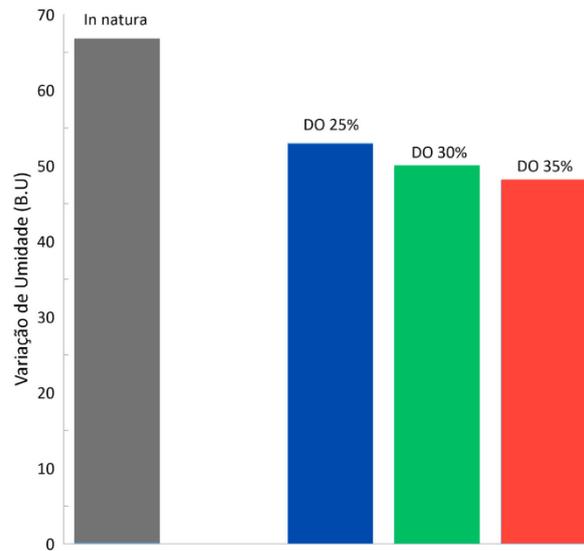
5.2. Secagem da batata-doce *in natura* e com desidratação osmótica

5.2.1. Comparação entre métodos

A umidade inicial apresentada da batata-doce *in natura* foi de aproximadamente 80%. A umidade apresentada pós desidratação osmótica foi de aproximadamente 63%. A umidade inicial do processo de secagem para as amostras pré-tratadas com DO, já se apresentava significativamente menor que a das amostras *in natura*. Entretanto, o tempo necessário para atingir a umidade de equilíbrio também foi reduzido.

Assim como mostrado pelo gráfico da Figura 14 e observado também em outros trabalhos como por Corrêa et al. (2010) e Macedo (2021), os resultados indicaram que quanto maior a concentração de açúcar na solução de pré-tratamento, menor foi a variação de umidade observada durante a secagem. Isso significa que a batata-doce pré-tratada em soluções de açúcar mais concentradas reteve uma menor quantidade de umidade para processo de secagem, em comparação com amostras pré-tratadas em soluções de açúcar menos concentradas. Ademais, isso se deve ao maior gradiente de pressão osmótica com o aumento da concentração da solução. A comparação entre as amostras *in natura* e as pré-tratadas com DO, da variação de umidade em base úmida durante a secagem das amostras no minuto 300, é representada no gráfico da Figura 14.

Figura 14 – Variação da umidade em base úmida no tempo de 300 minutos.

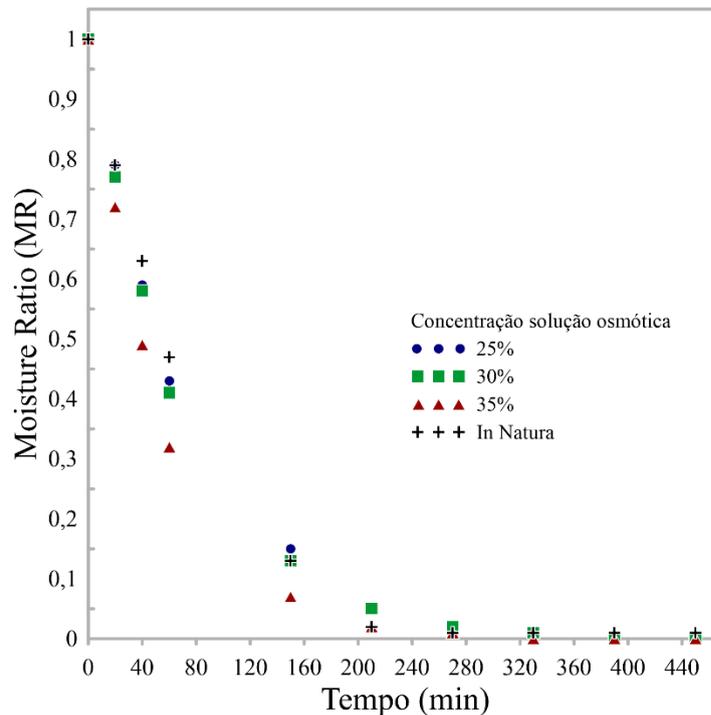


Fonte: do próprio autor (2023).

Já considerando que no momento da secagem propriamente dita, a umidade inicial já está bem abaixo da umidade da batata-doce in natura, fazemos a comparação entre a batata-doce pré-tratada com aquelas amostras que foram diretamente para o processo de secagem logo após a preparação.

Na Figura 15, pode-se observar a diferença entre os experimentos do tempo gasto para atingir a umidade de equilíbrio quando a taxa (MR) é zerada.

Figura 15 – Variação da taxa (MR) em função do tempo (min).



Fonte: do próprio autor (2023).

Como disposto na Figura 15, as experimentações que passaram pela desidratação osmótica, até mesmo na concentração de 25% que teoricamente seria que apresentasse a menor força motriz de transferência de massa (MUJUMDAR, 2006), atingiu a umidade de equilíbrio antes das amostras *in natura*.

As amostras *in natura* chegaram em sua umidade de equilíbrio no tempo de 460 minutos (7 horas e 40 minutos). As amostras que passaram pela desidratação osmótica a 25% atingiram o equilíbrio em 6 horas. As que foram submetidas à solução de 30% também levou cerca de 6 horas. Isso ocorreu devido à incorporação dos sólidos durante o processo de desidratação osmótica que em algum dos casos, influencia minimamente como impedimento na transferência de massa durante o processo de secagem. Mesmo que a quantidade de água seja quantitativamente maior que a incorporação de sólidos (Nahimana et al, 2011), o aumento da incorporação do soluto durante processos osmóticos podem aumentar a força de aderência da água no material, dificultando a saída da mesma (Macedo, 2011).

As amostras que foram submetidas à desidratação osmótica na concentração de 35% apresentaram o menor tempo para atingir a umidade de equilíbrio durante o processo de secagem. A solução osmótica mais concentrada foi capaz de reduzir significativamente a umidade da batata-doce *in natura* fazendo com que o tempo de secagem também fosse reduzido.

5.3. Ajuste dos modelos matemáticos

Com os dados obtidos, calculou-se o R^2 entre dois modelos afins comparativos de assertividade. Foi utilizado o Software Statistics Enterprise 10. Os valores obtidos dos parâmetros de cada modelo estão dispostos nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Ajuste do modelo cinético de secagem de Page.

Page (1949)			
Experimento (70°C)	Parâmetros		
	k	n	R² (%)
Secagem <i>in natura</i>	0,0078	1,1075	99,82
Secagem com DO25	0,0123	1,0151	99,71
Secagem com DO30	0,0137	0,9988	99,79
Secagem com DO35	0,0160	1,0244	99,84

Fonte: do próprio autor (2023).

Tabela 2 – Ajuste do modelo cinético de secagem de Henderson-Pabis.

Henderson-Pabis (1961)			
Experimento (70°C)	Parâmetros		
	a	k	R² (%)
<i>Secagem in natura</i>	1,0274	0,0274	99,50
Secagem com DO25	1,0053	0,0132	99,70
Secagem com DO30	1,0031	0,0137	99,80
Secagem com DO35	1,0129	0,0179	99,85

Fonte: do próprio autor (2023).

Os ajustes apresentaram uma ótima qualidade de dados com altos valores de R² (acima de 99%).

Quando R² é próximo de 1, indica que todos os pontos observados se situam extremamente próximos da curva de regressão, podendo ser explicadas pelas variações do próprio eixo. Portanto, não havendo desvios em torno da função do modelo que foi estimada (OLIVEIRA, 2017). Portanto, relacionado ainda mais com o processo de secagem os valores de R² quanto mais próximo de 1, indicam um excelente ajuste dos modelos para a representação da cinética de secagem (MARTINAZZO, 2007).

Não houve uma diferença significativa entre os valores do parâmetro k no modelo de Page, como também observado em outro estudo de Macedo (2021) para tratamentos com desidratação osmótica.

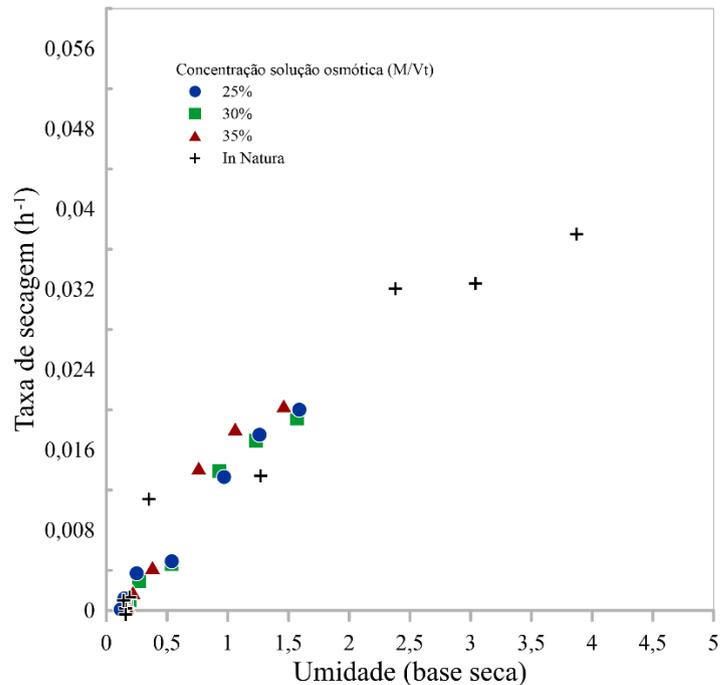
5.4. Taxa de Secagem

Com a coleta das massas das amostras nos tempos determinados, foi possível verificar a taxa de secagem no secador de bandejas para todas as experimentações, sendo elas demonstradas na Figura 16.

O comportamento observado nas curvas de taxas de secagem pode ser atribuído às diferenças na estrutura e conteúdo de umidade das amostras de batata-doce, devido ao pré-tratamento de desidratação osmótica. Em comparação com a secagem realizada *in natura*, as amostras que passaram pela desidratação osmótica apresentaram taxas de secagens inicialmente mais baixas, fato também observado por Macedo (2021) na secagem de morangos e por Tylewicz et al. (2019). O alto teor de umidade presente nas amostras *in natura* de batata-doce, auxilia a remoção da água e resulta em altos valores para a taxa de secagem. Durante o processo de secagem, a taxa diminui ao longo do tempo, visto que vai se tornando cada vez mais difícil a retirada da água. Entre as amostras secas que foram desidratadas osmoticamente, os valores da taxa de secagem foram próximos ao longo do tempo. Isso mostra que a incorporação de

sólidos durante os processos osmóticos aumenta as interações da água com o material, dificultando a transferência de massa do escoamento da água para a superfície da batata-doce (MACEDO, 2021).

Figura 16 – Taxa de Secagem (dx/dt) em função da umidade em base seca.

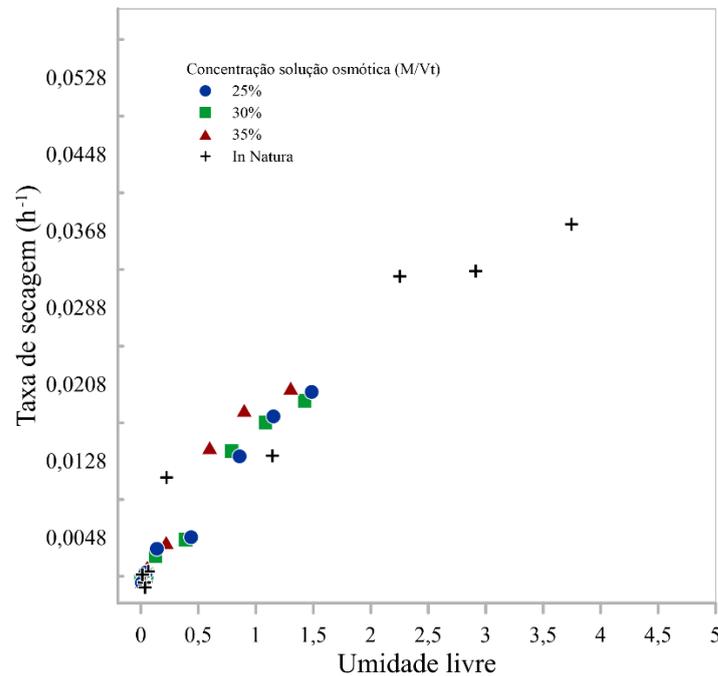


Fonte: do próprio autor (2023).

Analisando o comportamento apresentado nas curvas de taxas de secagem em função da umidade livre de acordo com a Figura 17, torna-se ainda mais clara a visualização do período de secagem através da curva.

O gráfico plotado demonstrado na Figura 17, mostra que todas as experimentações de secagem apresentaram um período decrescente. Segundo Brooker et al. (1992), a taxa de transporte interno de água é inferior à taxa de evaporação da umidade presente nas áreas mais próximas à superfície. Assim como também observado por Daudin (1983), para produtos alimentícios, esse período de taxa decrescente em questão é quase sempre o único a ser analisado, visto que em nessas situações, a transferência interna de água é que vai determinar a taxa de secagem. Entretanto, no período decrescente de secagem, caracteriza o período difusivo, logo a velocidade do ar não influenciará no processo, apenas a temperatura. Analisando mais a fundo, de acordo com Tadini et al. (2016), a superfície fica gradativamente mais pobre em líquido e a umidade é transferida principalmente por capilaridade, no qual tal evento é observado ao longo do tempo durante o processo.

Figura 17 – Taxa de Secagem (dx/dt) em função da umidade livre.



Fonte: do próprio autor (2023).

Alguns pontos intermediários que demonstraram um comportamento de taxa constante na secagem da amostra *in natura*, comparando com todos os outros resultados dos demais experimentos, indicam ser outliers provenientes de alguma perturbação durante o experimento. Uma possível queda da temperatura ao desligar o equipamento para a aferição da massa ou até mesmo a abertura da porta para verificação ou organização das amostras.

5.5.Considerações finais e possíveis alterações físicas e sensoriais

A isomaltulose é um dissacarídeo de baixo índice glicêmico, com propriedades adoçantes e utilizado como substituto do açúcar em alguns alimentos. Nesse contexto, a isomaltulose foi utilizada como soluto na desidratação osmótica da batata-doce, visando não apenas a remoção de água, mas também a incorporação de sólidos pela absorção da solução concentrada. Considerando os benefícios da isomaltulose até mesmo como um possível substituinte do açúcar comum, seu consumo voltado para atletas e esportistas seria de fato muito viável. Além de que a batata-doce é conhecida como uma excelente fonte de carboidratos complexos, fornecendo energia de longa duração, juntamente com a isomaltulose, um açúcar de baixo índice glicêmico que ao consumida promove uma lenta e gradual elevação de açúcar no sangue, a combinação dessas características de ambos produtos, poderia resultar em uma

ótima opção natural de energia.

É importante ressaltar que, embora o ganho de sólidos tenha sido similar nas diferentes concentrações, outros fatores podem ter sido afetados. Por exemplo, a textura, o sabor e outras características sensoriais do produto final podem ter variado com a concentração da solução de isomaltulose. Esses aspectos podem ser explorados em estudos adicionais para avaliar a influência dessas concentrações nas propriedades organolépticas da batata-doce desidratada.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho realizou a análise da cinética de secagem de batata-doce (*Ipomea-batatas*), em um secador de bandejas, demonstrando que secagem para as amostras pré-tratadas através da desidratação osmótica na solução de isomaltulose a 25%, 30% e 35%, apresentaram tempos menores para atingir a umidade de equilíbrio em comparação às amostras batatas-doces *in natura* submetidas à secagem na temperatura fixa de 70°C.

Amostras de batata-doce submetidas à desidratação osmótica teve seu tempo de secagem reduzido. A incorporação de sólidos foi de fato significativa, mas em contrapartida, foi comprovado também que a incorporação não é relevante em comparação à transferência de massa ocasionada pela migração da água (NAHIMANA et al., 2011). Quanto maior a concentração da solução osmótica, maior a força motriz de transferência de massa, ocasionando em uma maior desidratação no pré-tratamento, conseqüentemente reduzindo o tempo de secagem.

No estudo da taxa de secagem da batata-doce, as amostras *in natura* submetidas à secagem apresentaram taxas de secagem superiores às amostras que passaram pela desidratação osmótica. Isso se deve ao fato de que o alto teor de água facilita a remoção da umidade presente no material (MACEDO (2021) e TYLEWICZ et al. (2019). Ademais, a incorporação de sólidos causada pela desidratação osmótica provoca o contrário, fazendo com que aumente a aderência da água presente no material, justificando a diferença de tempo de secagem entre os tratamentos.

O tratamento com ácido cítrico a 1% foi de fato eficiente contra o escurecimento das amostras. Mesmo que o mesmo antecederesse a desidratação osmótica e a secagem, as amostras ainda apresentaram uma coloração clara.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Considerando que a batata-doce é amplamente consumida mundialmente, a secagem deste produto apresenta uma gama de benefícios para a comercialização e distribuição da mesma. Na ótica de enriquecer este trabalho e analisar pontos referentes à integridade deste alimento seco, visando a aceitação sensorial e biológica da população, é apresentada algumas sugestões afins de se conhecer o que mais a batata-doce seca e desidratada osmoticamente pode oferecer.

Sugere-se uma análise comparativa dos valores nutricionais da batata-doce fresca e seca, envolvendo a investigação da perda e ganho nutrientes considerando a incorporação da

isomaltulose durante o processo de desidratação osmótica; estudo de desenvolvimento de produtos paralelos à base de batata-doce seca, explorando diferentes maneiras de como esse produto pode ser usado como ingredientes de outros; análise de mercado da batata-doce seca em prol de identificar oportunidades comerciais e demanda para diferentes seguimentos de mercado; avaliação da estabilidade e vida útil da batata-doce seca (*shelf life*), incluindo também a influência de cada método de conservação e processamento que podem ajudar a prolongar a vida útil deste produto.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, F. F.; MELO, E. C.; SANTOS, R. H. S.; ROCHA, R. P.; MARTINAZZO, A. P.; RADÜNZ, L. L.; GRACIA, L. M. N. Evaluation of mathematical models for prediction of thinlayer drying of Brazilia lemon-scented verbena leaves (*Lippia alba* (Mill) N.E. Brown). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*
- BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. W., 1992, "Drying and storage of grains and oilseeds". Westport: The AVI Publishing Company.
- CIURZYNSKA, A., Kowalska, H., Czajkowska, K., & Lenart, A. (2016). Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food.
- COVRE, Lara. UESB. <http://www2.uesb.br/ppg/ppgecal/wp-content/uploads/2017/04/LARA-COVRE.pdf>. Acessado em 18 de maio de 2023.
- DOYMAZ, Ibrahim; Convective air-drying characteristic of thin layer carrots (2004).
- EMBRAPA, INFOTECA.
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1121613/1/BPD-202-08-04-2020.pdf>. Acessado em 14 de maio de 2023.
- EMBRAPA, Disponível em:
 2021. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1123422/1/Tese-Diene-.pdf>.
 Acessado em 14 de maio de 2023.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). "Sweet potato: a review of its past, present, and future role in human nutrition." (2010).
- HENDERSON, S. M.; Pabis, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agriculture Engineering Research*, v.6, n.3, p.169-174, 1961.
- JAVAD, Hesari. KHOYI, Mohammad Rahimzade. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution, 2021.
- KIM, J., & Rizvi, S. S. H. (2017). Osmotic dehydration: Principles, methods, and applications. In *Handbook of Food Chemistry* (pp. 305-334). Springer.
- L.M DIAMANTE; *Journal of Food Engineering Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices* (1993).
- MACEDO, Paula Daiany G.; MATOS, Simone Pires de. *Bioquímica dos Alimentos - Composição, Reações e Práticas de Conservação*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520810/>. Acessado em 11 de maio de 2023.
- NAHIMANA, H, Zhang M (2011). Shrinkage and color change during microwave vacuum drying of carrot. *Drying Technol.*
- NZIKOU, J. M; MATOS. (2010). Drying kinetics and textural properties of sweet potato

(Ipomoea batatas (L.) Lam.) slices dried at different temperatures.

NESPOLO, Cássia R.; OLIVEIRA, Fernanda A.; PINTO, Flávia S T.; et al. Práticas em tecnologia de alimentos (Tekne).

OLIVEIRA, Francisco Estevam Martins de. Estatística e Probabilidade - Exercícios Resolvidos e Propostos, 3ª edição. Grupo GEN, 2017.

PAGE, G. E. 1949. Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layers. Unpublished M.S. thesis, Purdue University, West Lafayette, Ind., 1949.

RAOULT-WACK; AI. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. Trends Food Sci Technol. 1994.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying-value foods: a review. Journal of Food Engineering, v. 49, n. 4, p. 311-319, 2001.

SACCHETTI, G., Mastrocola, D., Pittia, P., Rosa, M. D., & Fadda, C. (2004). Effect of osmotic treatment on quality and nutritional properties of two apple cultivars. Journal of Food Engineering, 61(3), 373-379.)

SCLAFANI , A. P. et al. Platelet Preparations for Use in Facial Rejuvenation and Wound Healing: A Critical Review of Current Literature.

TADINI, Carmen C.; TELIS, Vânia Regina N.; MEIRELLES, Antonio José de A.; et al. Operações Unitárias na Indústria de Alimentos - Vol. 2. Grupo GEN, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521632689/>. Acessado em 12 julho de 2023.

TEBCHERANI, S. M.; KUBASKI, E.T.; SEQUINEL, T.; JORGE, A.; SCHMIDT, S. Nanoita. Processo de secagem para alimentos e resíduos utilizando o fluxo de ar. BR1020130115029, 9 de maio de 2013, Brasil.

TYLEWICZ U., Oliveira, G., Alminger, M., Nohynek, L., Dalla Rosa, M., & Romani, S. (2020). Propriedades antioxidantes e antimicrobianas de frutas orgânicas submetidas à desidratação osmótica.

VIEIRA, Margarida; HO, Peter. Experiments in Unit Operations and Processing of Foods, 2008.

WARREN L, McCabe.; Unit Operations of Chemical Engineering. 5ª Edition. 1993.
FRANCO, C.M.L. et al. Propriedades gerais do amido.