DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA EM ALIMENTOS: VANTAGENS E LIMITAÇÕES EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA MATRIZ ALIMENTAR

Amanda Aparecida de Lima Santos[1,2], Matheus de Souza Cruz[2], Jhenifer Cristina Carvalho Santos[2], Gabriela Fonsêca Leal[2], João Renato de Jesus Junqueira[3], Jefferson Luiz Gomes Corrêa[2]

[1]Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil (amandalsants@gmail.com)
[2]Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil
[3]Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

Resumo: A desidratação osmótica (DO) é uma técnica aplicada à conservação de frutas e hortaliças, mas seus efeitos dependem da matriz alimentar e das condições de processo. Este trabalho discute vantagens e limitações da técnica, destacando alterações físicas, nutricionais e sua associação à secagem. A DO pode preservar cor, textura e compostos bioativos, reduzir o tempo de secagem e o consumo energético, mas também pode causar escurecimento, encolhimento, aumento de dureza e perdas nutricionais.

Palavras-chave: Desidratação osmótica; Frutas; Hortaliças; Secagem; Qualidade.

INTRODUÇÃO

A desidratação osmótica (DO) é uma técnica amplamente utilizada no processamento de frutas e hortaliças, principalmente por promover a remoção parcial de água dos tecidos vegetais, contribuindo para o aumento da vida útil, a redução da atividade de água e a manutenção de atributos de qualidade do produto. O processo ocorre pela imersão do alimento em uma solução hipertônica, geralmente composta por açúcares, sais ou outros agentes osmóticos, cuja baixa atividade de água cria uma diferença de pressão osmótica entre o alimento e o meio externo. Essa diferença atua como força motriz para a saída de água do tecido vegetal em direção à solução osmótica (Kaur et al., 2022; Mari; Parisouli; Krokida, 2024).

Durante a DO, ocorrem simultaneamente três fluxos principais de transferência de massa: a saída de água do alimento para a solução, a incorporação de solutos da solução para o tecido vegetal e a lixiviação de compostos naturais do alimento, como açúcares, ácidos orgânicos, minerais e vitaminas. Esses fenômenos são influenciados pela semipermeabilidade das membranas celulares e pelas características estruturais do tecido vegetal. Inicialmente, a remoção de água ocorre de forma mais intensa, mas tende a diminuir com o avanço do processo, à medida que o sistema se aproxima do equilíbrio osmótico (Azarpazhooh; Ramaswamy, 2012; Kaur et al., 2022; Ramya; Jain, 2017).

A eficiência da desidratação osmótica depende de diversos fatores, incluindo o tipo e a concentração do agente osmótico, a temperatura da solução, o tempo de imersão, a proporção entre alimento e solução e as características da matriz vegetal (Ahmed; Qazi; Jamal, 2016; Barman; Badwaik, 2017; do Carmo et al., 2022; Macedo et al., 2023a; Tian et al., 2019).

A DO é especialmente vantajosa para alimentos de origem vegetal, como frutas e vegetais, que são sensíveis a danos em suas estruturas celulares quando submetidos a altas temperaturas. Comparado a métodos mais agressivos, como a secagem ao ar, a aplicação do método de DO na indústria alimentícia pode oferecer além de redução no custo com energia, alguns benefícios, como manter as características naturais como cor e textura e características nutricionais dos alimentos (Brito et al., 2023; Chobot et al., 2024; Joshi et al., 2024; Mari; Parisouli; Krokida, 2024).

Entretanto, cada alimento possui uma composição química única e propriedades físicas distintas, o que faz com que sua resposta às condições do processo de desidratação varie consideravelmente, podendo gerar resultados positivos ou negativos. Os alimentos podem sofrer mudanças não apenas em atributos sensoriais, como textura, sabor e cor, mas também em suas propriedades físico-químicas e nos mecanismos de transferência de massa. Esses fatores podem levar a resultados inesperados ou negativos, como a deterioração de características desejáveis ou a perda excessiva de nutrientes (Ahmed; Qazi; Jamal, 2016; Abrahão; Corrêa, 2023).

Este trabalho tem como objetivo discutir as principais vantagens e limitações da desidratação osmótica aplicada a diferentes alimentos, considerando como as características da matriz alimentar, a composição da solução osmótica e as condições de processamento influenciam a transferência de massa, as propriedades físicas, a retenção de compostos bioativos e a qualidade final dos produtos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido por meio de uma pesquisa bibliográfica realizada na base de dados Scopus, com foco em artigos científicos sobre desidratação osmótica aplicada a frutas e vegetais. Para a busca, foram utilizadas palavras-chave relacionadas ao tema, como “osmotic dehydration”, “fruit”, “vegetable”, “quality”, “texture”, “color”, “shrinkage”, “bioactive compounds” e “drying”.

Foram selecionados artigos que abordavam os efeitos da desidratação osmótica sobre as propriedades físicas, físico-químicas, nutricionais e estruturais dos alimentos, bem como estudos que discutiam sua aplicação como pré-tratamento à secagem. A análise dos trabalhos foi realizada de forma qualitativa, buscando identificar as principais vantagens e limitações da técnica em função das características da matriz alimentar, da solução osmótica utilizada e das condições de processamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1 Alterações nas características físicas

1.1 Cor

A cor é um dos atributos físicos mais importantes na qualidade de frutas e hortaliças, pois influencia diretamente a aparência e a aceitação do produto pelo consumidor. Na DO, as alterações de cor dependem de fatores como teor de umidade, tipo e concentração do agente osmótico, temperatura, tempo de processo, incorporação de solutos e estabilidade dos pigmentos naturais, como betalaínas, carotenoides, antocianinas e clorofilas (Junqueira et al., 2018).

Entre as vantagens da DO, destaca-se a possibilidade de reduzir danos térmicos e minimizar o escurecimento enzimático e oxidativo. Isso ocorre porque o alimento permanece envolvido pela solução osmótica, o que reduz o contato com o oxigênio e cria uma condição menos favorável à oxidação dos pigmentos e compostos fenólicos. Além disso, a incorporação de solutos na superfície do alimento pode formar uma camada protetora, contribuindo para a retenção de pigmentos e para a preservação da coloração natural do produto (Abrahão; Corrêa, 2023; Brito et al., 2023; Faria; Soares; Vieira, 2020; Joshi et al., 2024; Kaur et al., 2022).

A sacarose, quando utilizada como agente osmótico, pode exercer efeito protetor sobre a cor, pois aumenta a pressão osmótica da solução e favorece a compactação da estrutura celular, reduzindo os espaços disponíveis para a difusão de pigmentos. Dessa forma, concentrações adequadas de sacarose podem limitar a perda de compostos responsáveis pela coloração e reduzir a variação de cor durante o processo. Esse efeito foi observado em diferentes matrizes vegetais, como cenoura, morango e manga, nas quais a escolha do agente osmótico e das condições de processo influenciou diretamente a estabilidade da cor (Abrahão; Corrêa, 2023; Basumatary et al., 2024; Macedo et al., 2022c; Shinde; Ramaswamy, 2020).

Outro aspecto importante é a possível redução da atividade de enzimas relacionadas ao escurecimento, como a polifenol oxidase (PPO). A impregnação de solutos e a redução da disponibilidade de oxigênio na microestrutura do alimento podem dificultar a oxidação de compostos fenólicos, reduzindo a formação de pigmentos escuros. Em alguns casos, a associação da DO com outras tecnologias, como ultrassom ou micro-ondas, também pode contribuir para menor degradação de pigmentos e menor diferença de cor em relação ao alimento fresco (Abrahão; Corrêa, 2023; Li; Zhang; Wang, 2020; Shinde; Ramaswamy, 2020).

Apesar desses benefícios, a DO também pode causar alterações indesejáveis na cor, dependendo do material e das condições aplicadas. O aumento da temperatura pode favorecer reações de escurecimento enzimático e não enzimático, incluindo a reação de Maillard, especialmente quando há presença de açúcares redutores e formação de uma camada espessa de solutos na superfície do alimento. Essas reações podem reduzir a luminosidade, intensificar tons amarelados ou escuros e comprometer a aparência final do produto (Almeida et al., 2015; An et al., 2013).

Além disso, a perda de pigmentos por lixiviação para a solução osmótica pode ocorrer em matrizes ricas em compostos hidrossolúveis, como betalaínas e antocianinas. Em vegetais como beterraba, cenoura e berinjela, alterações de cor foram associadas à perda ou degradação de pigmentos, exposição ao calor e à luz, isomerização de carotenoides e betalaínas e ação de enzimas oxidativas. Em frutas como banana, maçã, tomate cereja e mamão, também foram relatadas reduções no brilho, escurecimento superficial ou absorção da coloração da própria solução osmótica, como observado no uso de açúcar mascavo (Almeida et al., 2015; An et al., 2013; Junqueira et al., 2018; Kaur et al., 2024; Manzoor et al., 2021; Rai; Rani; Tripathy, 2022).

Portanto, os efeitos da desidratação osmótica sobre a cor podem ser positivos ou negativos, dependendo da matriz alimentar, do pigmento predominante, do tipo

de agente osmótico e das condições de processo. Quando adequadamente controlada, a DO pode contribuir para a preservação da cor natural dos alimentos. No entanto, condições inadequadas de temperatura, tempo, concentração da solução ou escolha do soluto podem favorecer escurecimento, perda de pigmentos e alterações visuais indesejáveis.

1.2 Encolhimento e dureza

Durante a DO, a perda de água do tecido vegetal para a solução osmótica e a incorporação de sólidos nos espaços intercelulares e extracelulares promovem alterações microscópicas importantes na estrutura dos alimentos. A saída de água gera um desequilíbrio de pressão entre o interior e o exterior das células, fazendo com que a matriz viscoelástica se desloque para os espaços anteriormente ocupados pela água, resultando em retração e modificações na textura do material (Junqueira et al., 2018; Macedo et al., 2021; Macedo et al., 2023a,b).

O encolhimento é uma das principais alterações físicas observadas em alimentos submetidos à DO e corresponde à redução do volume aparente inicial do produto. Esse fenômeno ocorre progressivamente, do exterior para o interior do material, conforme a água é removida das camadas celulares mais externas e, posteriormente, das regiões internas. Como consequência, pode ocorrer redução da porosidade, alteração da estrutura celular e diminuição do coeficiente de difusão, o que interfere diretamente na transferência de massa durante o processo (Macedo et al., 2022c; Mari; Parisouli; Krokida, 2024; Prosapio; Norton, 2017; Ramya; Jain, 2017).

A intensidade do encolhimento depende das características físico-químicas e estruturais de cada matriz alimentar, como composição química, porosidade inicial, propriedades mecânicas, volume aparente e organização celular. Materiais com maior porosidade, como berinjela e morango, tendem a apresentar maior contração durante a DO, pois seus espaços internos favorecem deformações mais intensas durante a remoção de água. Por outro lado, materiais menos porosos podem apresentar melhor manutenção da estrutura e menor deformação, dependendo das condições aplicadas (Junqueira et al., 2018; Macedo et al., 2022c).

A aplicação de pulso de vácuo pode apresentar efeitos distintos sobre o encolhimento, dependendo do alimento. Em matrizes de baixa porosidade, como beterraba e caqui, essa tecnologia pode favorecer a troca rápida de água e solutos pelo mecanismo hidrodinâmico, contribuindo para a preservação do turgor celular e redução do colapso estrutural. No entanto, em alimentos mais porosos ou em condições em que a perda de água é superior ao ganho de sólidos, o pulso de vácuo pode intensificar a contração da matriz, como observado em morangos, mamão e jambolão (Araújo et al., 2023; Corrêa et al., 2021a; Junqueira et al., 2018; Macedo et al., 2022b; Macedo et al., 2023b).

Além do encolhimento, a DO também pode modificar a dureza dos alimentos. Em alguns casos, ocorre redução da firmeza, associada à ruptura de membranas celulares e à destruição parcial da estrutura do tecido. Esse comportamento foi observado em talos de brócolis, mangas osmodesidratadas com auxílio de micro-ondas e ameixas tratadas com glicose, nas quais a menor incorporação de sólidos ou a maior desestruturação celular resultaram em menor força necessária para deformar ou perfurar o material (Md Salim; Garièpy; Raghavan, 2019; Rahaman et al., 2019; Shinde; Ramaswamy, 2020).

Por outro lado, a DO também pode aumentar a dureza dos alimentos. Esse efeito está geralmente associado à maior perda de água, ao aumento do teor de matéria seca, à incorporação de solutos e à redução da porosidade da matriz. A sacarose, por exemplo, pode se acumular na superfície do alimento e favorecer a formação de uma estrutura mais rígida e compacta. Esse comportamento foi relatado em cenouras, ameixas e morangos, nos quais maiores ganhos de sólidos e perdas de água contribuíram para o aumento da firmeza e da resistência estrutural (Basumatary et al., 2024; Macedo et al., 2023a; Rahaman et al., 2019).

A adição de sais de cálcio à solução osmótica também pode contribuir para o aumento da firmeza, devido à interação dos íons Ca^{2+} com os grupos carboxila da pectina presente na parede celular. Essa interação promove ligações cruzadas que fortalecem a adesão entre as células e preservam a estrutura do tecido. Estudos com mamão e banana mostraram que o uso de lactato de cálcio ou cloreto de cálcio pode resultar em textura mais rígida e maior preservação da firmeza durante a DO (Macedo et al., 2023b; Rai; Rani; Tripathy, 2022).

Dessa forma, os efeitos da desidratação osmótica sobre o encolhimento e a dureza dependem da estrutura do alimento, da porosidade, do tipo de soluto, da concentração da solução e da aplicação de tecnologias complementares, como o pulso de vácuo. Enquanto em alguns materiais a DO pode reduzir deformações e preservar a textura, em outros pode intensificar o encolhimento, aumentar a rigidez ou provocar perda de firmeza.

2 Alterações nas características nutricionais

A DO pode influenciar diretamente a composição nutricional dos alimentos, especialmente em relação aos compostos bioativos, como fenólicos, flavonoides, antocianinas, carotenoides, clorofilas e vitamina C. Esses compostos contribuem para a cor,

o sabor, o valor nutricional e a atividade antioxidante dos alimentos, mas apresentam diferentes sensibilidades ao processamento. Compostos hidrossolúveis, como vitamina C, fenólicos e antocianinas, podem ser perdidos por lixiviação para a solução osmótica, enquanto pigmentos como carotenoides e clorofila podem sofrer degradação em função da temperatura, luz, oxigênio, pH e presença de ácidos ou íons metálicos (Abrahão; Corrêa, 2023; Ignaczak et al., 2023; Pandiselvam et al., 2023).

Entre as vantagens da DO, destaca-se a possibilidade de preservar parte dos compostos termolábeis quando o processo é conduzido em condições adequadas de temperatura, tempo e concentração da solução. A redução da exposição ao calor, o uso de soluções osmóticas mais concentradas e a formação de uma camada protetora de solutos na superfície do alimento podem limitar o contato com o oxigênio e reduzir a degradação de compostos antioxidantes. Em banana, por exemplo, Almeida et al. (2015) observaram retenção superior a 97% da atividade antioxidante após os tratamentos osmóticos, indicando que a DO pode reduzir a umidade sem comprometer de forma expressiva a capacidade antioxidante do produto.

A composição da solução osmótica também pode favorecer a retenção de compostos bioativos. O uso de sacarose em concentrações mais elevadas pode formar uma barreira na superfície do alimento, reduzindo a perda de compostos associados à atividade antioxidante (Almeida et al., 2015). De forma semelhante, o uso de cloreto de cálcio em berinjela contribuiu para maior retenção de vitamina C, pois os íons cálcio interagem com a parede celular, diminuindo a permeabilidade do tecido e reduzindo a lixiviação do ácido ascórbico (Junqueira et al., 2017). Em mamão osmodesidratado com açúcar mascavo, maiores concentrações da solução também reduziram a degradação de compostos fenólicos, provavelmente pela formação de uma barreira mais eficiente ao redor das amostras (Kaur et al., 2024).

Além disso, a associação da DO com tecnologias complementares pode melhorar a preservação ou até favorecer o aumento aparente de alguns compostos. Em inhame chinês, o tratamento osmótico associado ao ultrassom promoveu aumento no teor de fenólicos, possivelmente pela liberação de compostos fenólicos ligados e pela redução da degradação oxidativa, devido à inativação parcial da polifenol oxidase (Li; Zhang; Wang, 2020).

Apesar desses efeitos positivos, a DO também pode causar perdas nutricionais relevantes. Reduções no teor de fenólicos totais, atividade antioxidante, vitamina C, clorofila e antocianinas foram relatadas em diferentes matrizes, como banana, talo de brócolis e morango (Almeida et al., 2015; Macedo et al., 2022a; Macedo et al., 2022c; Md Salim; Garièpy; Raghavan, 2019; Rai; Rani; Tripathy, 2022). Essas perdas estão principalmente associadas à lixiviação de compostos hidrossolúveis para a solução osmótica e à degradação química provocada por temperatura, tempo de processamento e exposição ao oxigênio (Abrahão; Corrêa, 2023; Md Salim; Garièpy; Raghavan, 2019).

A temperatura é um dos fatores mais importantes na retenção de compostos bioativos. Em temperaturas mais baixas, a perda ocorre predominantemente por difusão dos compostos para a solução osmótica. Já em temperaturas mais elevadas, além da lixiviação, há maior degradação química, intensificação do colapso celular e redução da seletividade das membranas, o que favorece a saída de compostos fenólicos e vitamina C do tecido vegetal (Abrahão; Corrêa, 2023; Almeida et al., 2015; Md Salim; Garièpy; Raghavan, 2019; Rai; Rani; Tripathy, 2022).

A perda de pigmentos também depende da natureza química de cada composto. Antocianinas, por serem hidrossolúveis, podem migrar facilmente para a solução osmótica, reduzindo seu teor no alimento. Além disso, o aumento da matéria seca causado pela impregnação de solutos pode reduzir a proporção desses pigmentos por unidade de massa seca (Macedo et al., 2022a; Macedo et al., 2022c). No caso da clorofila, a redução pode ocorrer pela remoção do átomo de magnésio da molécula, favorecida pela lixiviação de ácidos orgânicos durante a imersão osmótica (Md Salim; Garièpy; Raghavan, 2019).

Portanto, os efeitos da DO sobre as características nutricionais dos alimentos são dependentes da matriz vegetal, da natureza dos compostos bioativos, da solução osmótica e das condições de processamento. Quando bem controlada, a técnica pode contribuir para a preservação de antioxidantes e compostos termolábeis. No entanto, condições inadequadas de tempo, temperatura, concentração ou escolha do agente osmótico podem intensificar a lixiviação e a degradação de compostos nutricionalmente importantes.

3 DO associada à secagem

A DO é frequentemente utilizada como pré-tratamento antes da secagem, pois promove a remoção parcial de água do alimento e pode reduzir a demanda energética do processo subsequente. Ao diminuir previamente o teor de umidade, a DO pode contribuir para a redução do tempo e da temperatura necessários na secagem, além de favorecer a obtenção de produtos com menor atividade de água e maior estabilidade. Esse efeito está associado às alterações estruturais provocadas pela DO, como

ruptura parcial de membranas celulares, incorporação de sólidos, colapso estrutural e encolhimento, que podem facilitar a remoção de umidade durante a secagem posterior (Abrahão; Corrêa, 2023; Araújo; Pena, 2023; Dermesonlouoglou et al., 2019; Faria; Soares; Vieira, 2020; Oliveira et al., 2021).

Diversos estudos demonstram que a DO pode reduzir significativamente o tempo de secagem. Dermesonlouoglou et al. (2019) observaram reduções no tempo de secagem de tomate e pepino, enquanto Araújo e Pena (2023) verificaram diminuição de 25%, 29% e 31% no tempo de secagem de jambolão a 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Resultados semelhantes foram relatados para yacon submetido à DO com pulso de vácuo, com redução de até 47,5% no tempo de secagem, e para inhame tratado com DO associada ao ultrassom, com redução de até 50% em comparação às amostras frescas (Corrêa et al., 2021b; Li; Zhang; Wang, 2020; Oliveira et al., 2021).

Entretanto, esse comportamento não é universal. Em algumas matrizes, a DO pode aumentar o tempo de secagem, como observado em morangos osmodesidratados, que apresentaram aumento de até 33% no tempo de secagem, e em mamão, cujas amostras osmodesidratadas apresentaram menores taxas de remoção de água. Esse efeito pode estar relacionado à incorporação excessiva de sólidos, ao entupimento dos poros e à formação de uma camada de açúcar na superfície do alimento, dificultando a migração da umidade durante a secagem. Além disso, interações entre solutos e água podem aumentar a resistência ao fluxo de umidade, tornando a secagem mais lenta (Abrahão; Corrêa, 2023; Ahmed; Qazi; Jamal, 2016; Azoubel et al., 2015; Joshi et al., 2024; Macedo et al., 2021).

A associação entre DO e secagem também pode influenciar a cor do produto final. Em algumas frutas, o pré-tratamento osmótico contribui para maior retenção da cor, principalmente por reduzir a atividade de água, limitar o contato com oxigênio e diminuir o escurecimento enzimático e oxidativo. Esse efeito foi observado em abacaxi, banana, tomate cereja e yacon, nos quais a DO favoreceu maior estabilidade visual após a secagem (An et al., 2013; Corrêa et al., 2011; Corrêa et al., 2021b; Rai; Rani; Tripathy, 2022). No entanto, alterações indesejáveis também podem ocorrer, especialmente quando há formação de compostos escuros por reação de Maillard ou degradação térmica de pigmentos, como observado em talo de brócolis, pequi, yacon e ameixas (Md Salim; Garièpy; Raghavan, 2019; Mendonça et al., 2016; Oliveira et al., 2021; Rahaman et al., 2019).

Quanto à textura, a DO pode tanto preservar quanto aumentar a dureza dos alimentos após a secagem. Em morangos, tomates e yacon, o pré-tratamento osmótico contribuiu para melhor preservação da estrutura, reduzindo parcialmente o colapso celular durante a secagem (An et al., 2013; Corrêa et al., 2021b; Prosapio; Norton, 2017). Por outro lado, em alimentos como morango, cenoura, talo de brócolis, banana e pêssego, foi observado aumento da dureza, geralmente associado ao maior ganho de sólidos, à perda de água, à redução da porosidade e ao aumento do teor de matéria seca. O tipo de soluto também interfere nesse comportamento, pois açúcares de maior peso molecular ou maior viscosidade podem favorecer a formação de uma camada rígida na superfície do alimento durante a secagem (Basumatary et al., 2024; Macedo et al., 2021; Macedo et al., 2022b; Macedo et al., 2023a; Md Salim; Garièpy; Raghavan, 2019; Wang et al., 2024).

Em relação ao encolhimento, a DO geralmente apresenta efeito positivo quando aplicada antes da secagem. A incorporação de solutos na matriz alimentar pode reduzir a mobilidade da estrutura sólida, contribuir para a manutenção da forma e minimizar a contração durante a secagem convectiva. Esse comportamento foi observado em pequi, morango, yacon, tomate, abacaxi e cenoura, nos quais o pré-tratamento osmótico ajudou a preservar a estrutura física do produto seco. Esse efeito pode estar relacionado ao preenchimento de espaços intracelulares por solutos e à maior resistência estrutural durante a remoção de água (An et al., 2013; Corrêa et al., 2011; Corrêa et al., 2021b; Macedo et al., 2021; Macedo et al., 2022b; Mendonça et al., 2016; Souza et al., 2022).

A preservação de compostos bioativos em produtos submetidos à DO seguida de secagem também depende fortemente da matriz alimentar e das condições de processamento. Em alguns casos, o pré-tratamento osmótico pode reduzir perdas durante a secagem, pois a camada de solutos formada na superfície do alimento limita o contato com oxigênio e atua como barreira contra a difusão de compostos para o meio externo. Esse efeito foi observado em bananas, mamão, tomate cereja, pequi, satkara e inhame, nos quais a DO contribuiu para maior retenção de compostos como fenólicos, carotenoides, vitamina C e atividade antioxidante em comparação às amostras secas sem pré-tratamento (An et al., 2013; Azoubel et al., 2015; Li; Zhang; Wang, 2020; Mendonça et al., 2016; Rai; Rani; Tripathy, 2022; Roy et al., 2022).

Por outro lado, a combinação entre DO e secagem também pode intensificar perdas nutricionais. Compostos hidrossolúveis, como antocianinas, fenólicos, vitamina C e frutanos, podem ser lixiviados durante a etapa osmótica e degradados posteriormente pela exposição ao calor, oxigênio e luz durante a secagem. Reduções de antocianinas foram relatadas em morangos e jambolão, enquanto

perdas de vitamina C, fenólicos e clorofila foram observadas em talo de brócolis. Em cenouras osmodesidratadas e secas por sistema híbrido, também foi relatada maior degradação de carotenoides, atribuída à combinação entre lixiviação e degradação térmica. Já em yacon, a redução de frutanos foi associada à sua natureza hidrofílica e à exposição às condições de secagem (Araújo; Pena, 2023; Corrêa et al., 2021b; Macedo et al., 2021; Macedo et al., 2022b; Md Salim; Garièpy; Raghavan, 2019; Oliveira et al., 2021; Souza et al., 2022).

Assim, a utilização da DO como pré-tratamento à secagem apresenta vantagens importantes, como redução do tempo de secagem, menor consumo energético, preservação da cor, controle do encolhimento e maior retenção de compostos bioativos em determinadas matrizes. No entanto, seus efeitos não são universais. Dependendo do alimento, do soluto utilizado, da concentração da solução e das condições de secagem, a DO pode aumentar a dureza, dificultar a remoção de água, favorecer escurecimento e promover perdas nutricionais.

CONCLUSÃO

O tratamento osmótico nem sempre impacta de forma positiva a composição e as propriedades físico-químicas dos alimentos, podendo trazer tanto vantagens quanto desvantagens, dependendo das características da matriz alimentar, da solução osmótica e do processo. Compreender esses fatores é essencial para garantir um produto de alta qualidade. Portanto, o desenvolvimento de produtos desidratados osmoticamente requer um equilíbrio entre a eficácia na remoção de água e a conservação dos compostos bioativos e minerais essenciais, atendendo à demanda crescente por alimentos saudáveis, nutritivos e de alta qualidade sensorial. A técnica de DO deve ser ajustada conforme o alimento específico, e sua aplicação pode ser otimizada por meio da combinação com outras tecnologias, atendendo aos requisitos do produto final.

AGRADECIMENTOS

Os autores reconhecem o apoio financeiro da do Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Também agradecem a Universidade Federal de Lavras (UFLA) por fornecer suporte técnico e acesso às instalações laboratoriais usadas neste estudo.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, F. R.; CORRÊA, J. L. G. Osmotic dehydration: More than water loss and solid gain. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 63, n. 17, p. 2970–2989, 2023.

AHMED, I.; QAZI, I. M.; JAMAL, S. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. Innovative Food Science and Emerging Technologies, v. 34, p. 29–43, 2016.

ALMEIDA, J. A. R. et al. Effect of Temperature and Sucrose Concentration on the Retention of Polyphenol Compounds and Antioxidant Activity of Osmotically Dehydrated Bananas. Journal of Food Processing and Preservation, v. 39, n. 6, p. 1061–1069, 2015.

AN, K. et al. Effect of osmotic dehydration with pulsed vacuum on hot-air drying kinetics and quality attributes of cherry tomatoes. Drying Technology, v. 31, n. 6, p. 698-706, 2013.

ARAÚJO, A. L.; PENA, R. da S. Combined Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration and Convective Air-Drying Process of Jambolan Fruits. Foods, v. 12, n. 9, p. 1–18, 2023.

AZARPAZHOOH, E.; RAMASWAMY, H. S. Evaluation of Factors Influencing Microwave Osmotic Dehydration of Apples Under Continuous Flow Medium Spray (MWODS) Conditions. Food and Bioprocess Technology, v. 5, n. 4, p. 1265–1277, 2012.

AZOUBEL, P. M. et al. Improvement of Water Transport and Carotenoid Retention During Drying of Papaya by Applying Ultrasonic Osmotic Pretreatment. Food Engineering Reviews, v. 7, n. 2, p. 185–192, 2015.

BARMAN, N.; BADWAIK, L. S. Effect of ultrasound and centrifugal force on carambola (Averrhoa carambola L.) slices during osmotic dehydration. Ultrasonics Sonochemistry, v. 34, p. 37–44, 2017.

BASUMATARY, S. et al. Effect of different ultrasound conditions and other parameters on solids gain, water loss, and properties of osmotically dehydrated carrots. Journal of Food Process Engineering, v. 47, n. 3, p. 1–11, 2024.

BRITO, J. G. et al. Osmotic dehydration kinetics of banana slices with peel. Comunicata Scientiae, v. 14, n. May 2020, p. 1–9, 2023.

CHOBOT, M. et al. Development of drying and roasting processes for the production of plant-based pro-healthy snacks in the light of nutritional trends and sustainable techniques. Trends in Food Science and Technology, v. 149, n. April, 2024.

CORRÊA, J. L. G. et al. Drying of pineapple by microwave-vacuum with osmotic pretreatment. Drying Technology, v. 29, n. 13, p. 1556–1561, 2011.

CORRÊA, J. L. G. et al. Drying of persimmon fruit (Diospyros kaki L.) pretreated by different osmotic processes. Journal of Food Process Engineering, v. 44, n. 10, p. 1–12, 2021a.

CORRÊA, J. L. G. et al. Dried yacon with high fructooligosaccharide content. Journal of Food Process Engineering, v. 44, n. 12, 2021b.

DERMESONLOUOGLOU, E. K. et al. Osmotic pretreatment for the production of novel dehydrated tomatoes and cucumbers. Journal of Food Processing and Preservation, v. 43, n. 7, p. 1–12, 2019.

DO CARMO, J. R. et al. Mango enriched with sucrose and isomaltulose (Palatinose®) by osmotic dehydration: Effect of temperature and solute concentration through the application of multilevel statistical models. Journal of Food Processing and Preservation, n. July, p. 1–10, 2022.

FARIA, M. M. L. de; SOARES, S. B. D.; VIEIRA, D. A. de P. Osmotic and Conventional Dehydration of Banana Da Terra (Musa Sapientum). Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 11, p. 86506–86518, 2020.

IGNACZAK, A. et al. Influence of Pre-Treatment and Drying Methods on the Quality of Dried Carrot Properties as Snacks. Molecules, v. 28, n. 17, 2023.

JOSHI, A. et al. Sustainable solutions for food security: Evaluating pre-treatment technologies in the growing fruits and vegetables industry of India. Sustainable Chemistry and Pharmacy, v. 39, n. April, p. 101580, 2024.

JUNQUEIRA, J. R. DE J. et al. Influence of sodium replacement and vacuum pulse on the osmotic dehydration of eggplant slices. Innovative Food Science and Emerging Technologies, v. 41, p. 10–18, 2017.

JUNQUEIRA, J. R. DE J. et al. Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration of Beetroot, Carrot and Eggplant Slices: Effect of Vacuum Pressure on the Quality Parameters. Food and Bioprocess Technology, v. 11, n. 10, p. 1863–1875, 2018.

KAUR, D. et al. Osmotic dehydration of fruits using unconventional natural sweeteners and non-thermal-assisted technologies: A review. Food Processing and Preservation, p. e16890, 2022.

KAUR, D. et al. Improving the physicochemical properties of papaya through osmotic dehydration with various natural sweeteners. Scientific Reports, v. 14, p. 23797, 2024.

LI, L.; ZHANG, M.; WANG, W. Ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment before pulsed fluidized bed microwave freeze-drying (PFBMFD) of Chinese yam. Food Bioscience, v. 35, p. 100548, 2020.

MACEDO, L. L. et al. Convective Drying with Ethanol Pre-treatment of Strawberry Enriched with Isomaltulose. Food and Bioprocess Technology, v. 14, n. 11, p. 2046–2061, 2021.

MACEDO, L. L. et al. The impact of using vacuum and isomaltulose as an osmotic agent on mass exchange during osmotic dehydration and their effects on qualitative parameters of strawberries. Journal of Food Process Engineering, v. 45, n. 8, p. 1–13, 2022a.

MACEDO, L. L. et al. Intermittent microwave drying and heated air drying of fresh and isomaltulose (Palatinose) impregnated strawberry. Lwt - Food Science and Technology, v. 155, 2022b.

MACEDO, L. L. et al. Effect of osmotic agent and vacuum application on mass exchange and qualitative parameters of osmotically dehydrated strawberries. Journal of Food Processing and Preservation, v. 46, n. 7, p. 1–10, 2022c.

MACEDO, L. L. et al. Use of coconut sugar as an alternative agent in osmotic dehydration of strawberries. Journal of Food Science, v. 88, n. 9, p. 3786–3806, 2023a.

MACEDO, L. L. et al. The impact of the use of vacuum and calcium lactate on the osmotic dehydration of papaya with isomaltulose solution. Brazilian Journal of Health Review, v. 6, n. 3, p. 8387–8403, 2023b.

MANZOOR, A. et al. Comparative study of microwave assisted and conventional osmotic dehydration of apple cubes at a constant temperature. Journal of Agriculture and Food Research, v. 5, p. 100176, 2021.

MARI, A.; PARISOULI, D. N.; KROKIDA, M. Exploring Osmotic Dehydration for Food Preservation: Methods, Modelling, and Modern Applications. Foods, v. 13, p. 2783, 2024.

MD SALIM, N. S.; GARIÈPY, Y.; RAGHAVAN, V. Effects of Processing on Quality Attributes of Osmo-Dried Broccoli Stalk Slices. Food and Bioprocess Technology, v. 12, n. 7, p. 1174–1184, 2019.

MENDONÇA, K. et al. Mass Transfer Kinetics of the Osmotic Dehydration of Yacon Slices with Polyols. Journal of Food Processing and Preservation, v. 41, n. 1, p. 1–8, 2016.

OLIVEIRA, L. F. et al. Drying of 'yacon' pretreated by pulsed vacuum osmotic dehydration. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental, v. 25, n. 8, p. 560–565, 2021.

PANDISELVAM, R. et al. Individual and interactive effect of ultrasound pre-treatment on drying kinetics and biochemical qualities of food: A critical review. Ultrasonics Sonochemistry, v. 92, n. October 2022, 2023.

PROSAPIO, V.; NORTON, I. Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven drying and freeze drying performance. Lwt - Food Science and Technology, v. 80, p. 401–408, 2017.

RAHAMAN, Abdul et al. Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on texture, bioactive compounds and metabolites analysis of plum. Ultrasonics sonochemistry, v. 58, p. 104643, 2019.

RAI, R.; RANI, P.; TRIPATHY, P. P. Osmo-air drying of banana slices: multivariate analysis, process optimization and product quality characterization. Journal of Food Science and Technology, v. 59, n. 6, p. 2430–2447, 2022.

RAMYA, V.; JAIN, N. K. A Review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach. Journal of Food Process Engineering, v. 40, n. 3, p. 1–22, 2017.

ROY, M. et al. Study on the drying kinetics and quality parameters of osmotic pre-treated dried Satkara (Citrus macroptera) fruits. Journal of Food Measurement and Characterization, v. 16, n. 1, p. 471–485, 2022.

SHINDE, B.; RAMASWAMY, H. S. Evaluation of mass transfer kinetics and quality of microwave-osmotic dehydrated mango cubes under continuous flow medium spray (MWODS) conditions in sucrose syrup as moderated by dextrose and maltodextrin supplements. Drying Technology, v. 38, n. 8, p. 1036–1050, 2020.

SOUZA, A. U. DE et al. Hybrid microwave-hot air drying of the osmotically treated carrots. Lwt - Food Science and Technology, v. 156, n. January, p. 1–8, 2022.

TIAN, Y. et al. Sucrose isomers as alternative sweeteners: properties, production, and applications. Applied Microbiology and Biotechnology, v. 103, n. 21–22, p. 8677–8687, 2019.

WANG, F. et al. Insight into the effect of osmosis agents on macro- and micro- texture,water distribution, and thermal stability of instant controlled pressure drop drying peach chips. Food Chemistry, v. 440, n. November 2023, p. 138236, 2024.