

  <https://doi.org/10.56238/tecavanaborda-026>

Karina Oliveira Lima

Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Pelotas, RS, Brazil.

Gustavo Richter Vaz

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande, RS, 96203-900, Brazil

Caroline Dellinghausen Borges

Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Pelotas, RS, Brazil.

E-mail: caroldellin@hotmail.com

RESUMO

Vegetais minimamente processados são produtos de praticidade submetidos a um processamento por meio de operações unitárias que podem levar a uma rápida deterioração do produto. Nanoemulsões (NEs) são sistemas heterogêneos formados a partir de dois líquidos imiscíveis em que um líquido se

encontra disperso no outro em pequenas gotículas, estabilizadas por tensoativos, as quais podem ser utilizadas como nanocarreadores de diferentes compostos. O objetivo desta revisão é apresentar os avanços na utilização de NEs na conservação de vegetais minimamente processados. Além disso, serão abordados tópicos envolvendo composição, métodos de obtenção, caracterização, propriedades e estabilidade de Nes. Em geral, os métodos mais utilizados para a obtenção das NEs foram homogeneização a alta pressão e ultrassonicação. Os estudos demonstraram redução microbiana, controle do escurecimento, menor redução da firmeza e da perda de massa, bem como redução da taxa respiratória nos vegetais minimamente processados revestidos com diferentes NEs, não apresentando impactos indesejáveis nos atributos sensoriais como cor e aparência. A aplicação de NEs contendo compostos antioxidantes e antimicrobianos em vegetais minimamente processados torna-se uma alternativa promissora para preservar as características destes produtos.

Palavras-chave: Nanotecnologia, Nanocarreador, Vida útil, Revestimento comestível.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de frutas e hortaliças minimamente processadas vem crescendo ao longo dos anos em vista da busca dos consumidores por alimentos saudáveis que aliam praticidade e economia de tempo no preparo diário dos alimentos (PRAKASH et al., 2018; PRAKASH et al., 2020). Os vegetais minimamente processados representam uma fonte de vitaminas, minerais e fitoquímicos essenciais para a saúde (RAMOS et al., 2013).

As operações realizadas durante o processamento mínimo de vegetais causam danos físicos nos tecidos, o que pode levar a uma rápida deterioração fisiológica, alterações bioquímicas e o crescimento microbiano (AHVENAINEN, 1996; CORATO, 2020), de modo que induzem a efeitos adversos na qualidade do produto, como alteração da textura, da cor, do sabor e a perda de água (CORATO, 2020; FRANCIS et al., 2012; HASAN et al., 2020; SIROLI et al., 2015). Além disso, esses produtos se tornam suscetíveis para o desenvolvimento de micro-organismos patogênicos, afetando a segurança microbiológica dos mesmos (HASAN et al., 2020; SANZ et al., 2002).

Os fatores mencionados acima diminuem a vida útil dos vegetais minimamente processados e a aceitação pelo consumidor (HASAN et al., 2020), tornando um desafio manter as características dos produtos minimamente processados por um tempo de armazenamento prolongado (YOUSUF et al., 2018), o que tem impulsionado pesquisas sobre novas abordagens para a conservação desses produtos, como a utilização de nanoemulsões (HASAN et al., 2020; PRAKASH et al., 2018).

Nanoemulsões (NEs) são dispersões de dois líquidos imiscíveis estabilizadas por tensoativos, sendo compostas tipicamente por água, óleo e emulsificante (GUPTA et al., 2016) e cineticamente estáveis (TADROS et al., 2004). Devido ao pequeno tamanho das gotículas apresentam aumento da estabilidade física frente à cremação, floculação, coalescência e sedimentação, quando comparadas com macroemulsões (MCCLEMENTS, 2011; MCCLEMENTS & RAO, 2011; SALVIA-TRUJILLO et al., 2017). A alta área superficial das NEs as tornam formulações promissoras para o desenvolvimento de sistemas de liberação de compostos bioativos (SALVIA-TRUJILLO et al., 2017).

A aplicação de NEs torna-se uma alternativa promissora para aumentar os atributos de qualidade de vegetais minimamente processados, pois podem funcionar como nanocarreadores de nutracêuticos, de compostos antioxidantes, de antimicrobianos, de agentes corantes e de aromatizantes (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019; HASAN et al., 2020). Recentemente o uso de NEs começou a ser explorado na preparação de revestimentos comestíveis, permitindo um maior controle sobre a liberação de princípios ativos (ZAMBRANO-ZARAGOZA et al., 2018). Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre a utilização de NEs na conservação de vegetais minimamente processados.

1.1 FRUTAS E HORTALIÇAS MINIMAMENTE PROCESSADAS

Frutas e hortaliças minimamente processadas são produtos submetidos a um processamento por meio de operações unitárias como seleção, limpeza, lavagem, descascamento, corte, sanitização, acondicionamento e armazenamento (RAMOS et al., 2013). Entretanto, os produtos devem apresentar aparência fresca, com superfície de cor brilhante, isentos de defeitos e deterioração (FRANCIS et al., 2012). O uso do sanitizante reduz a carga microbiana dos vegetais, sendo o armazenamento em temperaturas de refrigeração o principal método de conservação, entretanto estas operações não garantem a ausência de micro-organismos (AHVENAINEN, 1996; RAMOS et al., 2013).

Frutas e hortaliças são ricas em carboidratos e pobres em proteínas, com valores de pH variando de 7,0 a levemente ácidos e apresentam alta atividade de água, sendo, portanto, muito perecíveis (RAMOS et al., 2013). Os vegetais minimamente processados deterioram-se mais rapidamente do que as frutas e as hortaliças íntegras (YOUSUF et al., 2018), pois os danos causados pelo processamento mínimo aceleram muitas mudanças fisiológicas levando a uma redução na qualidade e na vida útil dos

produtos. Além disso, são susceptíveis ao crescimento de micro-organismos deteriorantes e patogênicos, sendo os de maior preocupação *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* principalmente O157:H7 e *Salmonella spp.* (FRANCIS et al., 2012). A *Listeria monocytogenes* por ser um micro-organismo que está presente amplamente no solo e no ambiente agrícola em geral, além de ser um patógeno psicrotrófico que pode sobreviver ou crescer em temperaturas de refrigeração (FRANCIS & O'BEIRNE, 2002), enquanto a *E. coli* e a *Salmonella* por serem patógenos intestinais (HARRIS et al., 2003). Como esses produtos podem ser consumidos crus, a presença desses micro-organismos apresenta um grave problema de segurança microbiológico (HASAN et al.2020).

Os vegetais minimamente processados deveriam ter uma vida útil de armazenamento de até 21 dias, no entanto devido a produção de etileno, ao aumento da atividade respiratória e da atividade enzimática em função da liberação de substratos das células estimuladas pelas lesões, há uma tendência na redução deste tempo (RAMOS et al., 2013). As características físico-químicas dos vegetais minimamente processados, bem como a sobrevivência e o crescimento de patógenos, são influenciados por diversos fatores, tais como o tipo de produto, a variedade do vegetal, as Boas Práticas de Fabricação, as operações de processamento mínimo, a embalagem, a temperatura de armazenamento e a utilização em conjunto da refrigeração com outros métodos de conservação (FRANCIS et al., 2012).

O uso de métodos químicos através da lavagem com sanitizantes e o uso de conservantes, e métodos físicos como embalagem modificada, irradiação, luz ultravioleta, dentre outros, são tecnologias que visam reduzir/eliminar ou ainda evitar o desenvolvimento dos micro-organismos em vegetais minimamente processados. No entanto, nenhum dos métodos pode controlar todos os parâmetros que mantêm a qualidade e a vida útil desses produtos (RAMOS et al., 2013). Cabe salientar que nos últimos anos houve um aumento no interesse dos consumidores em consumir produtos minimamente processados sem a utilização de aditivos sintetizados quimicamente (HASAN et al., 2020).

Dessa forma, pesquisas adicionais sobre novas abordagens para a conservação ainda são necessárias, a fim de resultar em um produto com vida útil prolongada e com manutenção da qualidade (HASAN et al., 2020; PRAKASH et al., 2018; RAMOS et al., 2013).

1.2 NANOEMULSÕES

Nanoemulsões (NEs) são dispersões coloidais formadas a partir de duas fases imiscíveis (geralmente uma oleosa e uma aquosa), em que pequenas gotículas de uma das fases ($r < 100$ nm) são dispersas na outra, sendo este sistema estabilizado por tensoativos (GUPTA et al., 2016; MASON et al., 2006; MCCLEMENTS, 2011, 2021). Trata-se, portanto, de estruturas cineticamente estáveis

compostas tipicamente por água, óleo e agente emulsificante (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019; MCCLEMENTS & RAO, 2011; TADROS et al., 2004). A definição do tamanho das NEs na literatura é ainda variável, abrangendo faixas entre 30-200 nm (SALVIA-TRUJILLO et al., 2017), 50-200 nm (TADROS et al., 2004) sendo valores inferiores a 500 nm a faixa em que grande parte dos estudos publicados referentes a NEs se enquadram (MCCLEMENTS, 2021).

As NEs apresentam diversas aplicações potenciais na indústria de alimentos em virtude das suas propriedades únicas, como tamanho reduzido de partícula, estabilidade, transparência e reologia ajustável (GUPTA et al., 2016). Por apresentarem aparência transparente podem ser incorporadas em formulações de alimentos sem afetar as propriedades ópticas do produto (ACEVEDO-FANI et al., 2017). Além disso, o uso de NEs pode superar os inconvenientes da instabilidade química, da baixa dispersibilidade em matrizes alimentares e perfis de sabor inaceitáveis de compostos antimicrobianos naturais na forma livre, além de possibilitar a potencialização de seus efeitos (MCCLEMENTS et al., 2021).

As NEs podem ser do tipo óleo em água (O/A) ou água em óleo (A/O). No primeiro caso pequenas gotículas de óleo encontram-se dispersas na fase contínua aquosa e no segundo caso pequenas gotículas de água são dispersas em uma fase contínua oleosa (MCCLEMENTS et al., 2007; MCCLEMENTS, 2021), sendo em ambos os casos o líquido que compõe as gotículas denominado como fase dispersa e o líquido circundante como fase contínua (MCCLEMENTS & RAO, 2011; MCCLEMENTS, 2005). NEs O/A são usadas preferencialmente como nanocarreadores de compostos ativos hidrofóbicos devido à natureza lipofílica da fase oleosa, enquanto as A/O são usadas preferencialmente como carreadores de compostos ativos hidrofílicos (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019). No caso de nanocarreadores de substâncias bioativas hidrofóbicas, como lipídeos, vitaminas e fitoquímicos, as NEs podem proporcionar aumento da estabilidade e eficácia desses compostos (MCCLEMENTS, 2021).

1.3 COMPOSIÇÃO DAS NANOEMULSÕES

A fase aquosa usualmente utilizada para o preparo das NEs é composta principalmente por água, no entanto também podem ser inseridos diversos outros componentes polares, como co-solventes (álcoois e polióis), carboidratos, proteínas, minerais, ácidos e bases (MCCLEMENTS & RAO, 2011). O tipo e a concentração desses componentes influenciam na formação, estabilidade e nas propriedades físico-químicas das NEs obtidas (MCCLEMENTS & RAO, 2011).

A fase oleosa pode conter diferentes componentes apolares, tais como triacilgliceróis, diacilgliceróis, monoacilgliceróis, óleos essenciais, óleos minerais, ácidos graxos livres, ceras, agentes de aumento de peso, vitaminas e outros compostos lipofílicos (HASAN et al., 2020; MCCLEMENTS

& RAO, 2011; MCCLEMENTS, 2005). Os triacilgliceróis de cadeia longa, como óleo de milho, soja, girassol e peixe, normalmente são utilizados na formulação de NEs devido ao baixo custo, disponibilidade e atributos funcionais ou nutricionais (MCCLEMENTS & RAO, 2011).

Agentes estabilizantes são adicionados na formulação de NEs, pois o sistema contendo apenas a fase oleosa e aquosa tende a se decompor rapidamente por diferentes mecanismos, como separação gravitacional, floculação, coalescência e amadurecimento de Ostwald (GUPTA et al., 2016; MCCLEMENTS, 2011, 2012; MCCLEMENTS & RAO, 2011). A separação gravitacional pode levar a cremação (gotículas com densidade menor que a densidade da fase contínua tendem a se mover para cima) ou sedimentação (gotículas com densidade maior que a densidade da fase contínua tendem a se mover para baixo) fatos que ocorrem devido à diferença de densidade entre as fases dispersa e contínua (MCCLEMENTS & RAO, 2011; MCCLEMENTS, 2005), a floculação ocorre devido à associação de duas ou mais gotículas (mantendo a integridade individual), a coalescência ocorre pela formação de uma gota maior quando há a fusão de duas ou mais gotículas (MCCLEMENTS, 2005) e no amadurecimento de Ostwald ocorre aumento médio das gotículas ao longo do tempo, devido à difusão de moléculas de óleo de gotículas pequenas para as gotículas grandes (KABALNOV, 2001).

Os emulsificantes são moléculas anfifílicas, com regiões polares e apolares, cuja solubilidade será dependente do equilíbrio hidrofílico-lipofílico (EHL) (MASON et al., 2006). O uso de emulsificante torna-se essencial para obtenção de gotículas de tamanho pequeno, pois atua diminuindo a tensão interfacial entre a fase oleosa e aquosa, o que facilita a ruptura das gotículas em gotículas menores durante a homogeneização (GUPTA et al., 2016; SALVIA-TRUJILLO et al., 2017). Além disso, os emulsificantes atuam formando um revestimento protetor ao redor das gotículas recém-formadas evitando a coalescência, por exemplo, através de interações repulsivas, como repulsão eletrostática e/ou estérica (GUPTA et al., 2016; MASON et al., 2006; TADROS et al., 2004).

Na formulação das NEs pode ser utilizado um único emulsificante ou combinações de diferentes emulsificantes (MCCLEMENTS & RAO, 2011). Na indústria de alimentos, os emulsificantes mais comumente utilizados incluem lipídeos, proteínas e polissacarídeos (MCCLEMENTS, 2005). Além disso, surfactantes sintéticos que podem atuar como emulsificantes como os Tweens e os Spans costumam ser utilizados (MCCLEMENTS et al., 2021). Outros tipos de estabilizantes também podem ser utilizados como agentes de aumento de peso, retardadores de amadurecimento de Ostwald e modificadores de textura (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019).

1.4 MÉTODOS DE OBTENÇÃO DAS NANOEMULSÕES

As NEs são sistemas que não se formam espontaneamente, sendo necessário o uso de energia para sua formação (MCCLEMENTS, 2012; TADROS et al., 2004).

A obtenção de NEs pode envolver métodos de alta ou baixa energia (MCCLEMENTS, 2012; MCCLEMENTS & RAO, 2011; SALVIA-TRUJILLO et al., 2017; TADROS et al., 2004). Dentre os métodos de alta energia há a utilização de dispositivos mecânicos como homogeneizadores de alta pressão, microfluidizadores e ultrassonicadores, os quais têm a capacidade de gerar forças disruptivas extremamente intensas com potencial de causar a quebra das gotículas levando à formação de gotículas ainda menores. Enquanto os métodos de baixa energia (utilizam a energia química armazenada nos componentes) incluem emulsificação espontânea e métodos de inversão de fase, os quais são dependentes da formação espontânea das gotículas, através de alterações na composição ou nas condições ambientais (MCCLEMENTS, 2011; MCCLEMENTS & RAO, 2011; SALVIA-TRUJILLO et al., 2017).

1.5 MÉTODOS DE ALTA ENERGIA

Em homogeneizadores a alta pressão o tamanho de partículas pré-existentes (emulsão grosseira) é reduzido. O homogeneizador a alta pressão é alimentado com a formulação pré-formada através de uma bomba em alta pressão, sendo bombeada através de uma válvula estreita no final da câmara. Ao passar pela válvula a formulação é submetida a intensas forças disruptivas (turbulência, cisalhamento e cavitação), fazendo com que as gotas maiores sejam quebradas em menores (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019; MCCLEMENTS, 2011; SALVIA-TRUJILLO et al., 2017).

Os microfluidizadores são semelhantes aos homogeneizadores a alta pressão, no entanto, neste dispositivo, a emulsão flui através de dois canais de fluxo. No microfluidizador a emulsão é dividida através de um canal em dois fluxos separadamente, sendo estes posteriormente direcionados para uma câmara de interação, na qual através da colisão das duas correntes em rápido movimento são geradas forças disruptivas intensas, levando a uma ruptura de gotículas altamente eficiente (MCCLEMENTS & RAO, 2011; SALVIA-TRUJILLO et al., 2017). No caso dos microfluidizadores, os mais comuns utilizados para obtenção de NEs são os homogeneizadores com canal em forma de Y (SALVIA-TRUJILLO et al., 2017).

Os métodos de sonicação utilizam ondas ultrassônicas de alta intensidade com frequência > 20 kHz para gerar uma força de cisalhamento capaz de quebrar a emulsão previamente preparada em pequenas gotículas, formando NEs (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019; MCCLEMENTS, 2011; SALVIA-TRUJILLO et al., 2017). A sonda ultrassônica converte ondas elétricas em ondas de pressão, gerando intensas forças disruptivas (MCCLEMENTS, 2011) por meio de uma combinação de cavitação, turbulência e ondas interfaciais (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019).

1.6 MÉTODOS DE BAIXA ENERGIA

Nos métodos de baixa energia, as NEs se formam na interface das fases de óleo e água por meio da mistura suave dos componentes, a qual pode ser controlada através da alteração da temperatura ou pela variação da composição e propriedades interfaciais. Como esses métodos envolvem geração mínima de energia evitam a degradação de compostos termolábeis presentes na formulação (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019).

O método de emulsificação espontânea consiste na formação espontânea da NE através da variação das composições das duas fases, das condições ambientais (temperatura, pH e força iônica) e/ou das condições de mistura, por exemplo velocidade de agitação e taxa e ordem de adição dos componentes. A formação espontânea das gotículas ocorre através do movimento do surfactante da sua localização original (uma das fases contém o surfactante) para a outra fase, visto que o mesmo é miscível em ambas fases. Conforme o surfactante se move, ocorre uma turbulência interfacial com a formação espontânea das gotículas (MCCLEMENTS & RAO, 2011).

O método da temperatura de inversão de fase (TIF) se baseia nas mudanças na curvatura ótima ou solubilidade de surfactantes não iônicos através da variação da temperatura. Em baixas temperaturas, o surfactante tende a ser mais solúvel em água, enquanto em temperaturas mais altas se torna mais solúvel na fase oleosa. O método de TIF, normalmente, envolve a transformação controlada de uma emulsão O/A para A/O, ou vice-versa, através de uma fase bicontínua intermediária e a temperatura na qual ocorre essa inversão é denominada como TIF (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019; MCCLEMENTS, 2011).

No método da inversão da composição das fases, a curvatura ótima do surfactante é alterada através da alteração da formulação do sistema, no lugar da temperatura como no método TIF. Nesse método a inversão de uma emulsão O/A estabilizada por um surfactante iônico para A/O pode ser realizada adicionando sal, enquanto uma emulsão A/O com alto teor de sal pode ser convertida em O/A por diluição com água (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019; MCCLEMENTS & RAO, 2011). Outra maneira de preparar NEs usando o método da inversão da composição das fases é através da alteração do pH, modificando assim a carga elétrica e a estabilidade das emulsões (MCCLEMENTS & RAO, 2011).

1.7 CARACTERIZAÇÃO

As NEs são caracterizadas em relação a várias propriedades, como tamanho da gota, composição, estabilidade e morfologia, através de diferentes técnicas. A avaliação da distribuição do tamanho das gotas de NEs, bem como a estabilidade do tamanho durante o armazenamento, é comumente determinada por espalhamento de luz dinâmico (*Dynamic Light Scattering* - DLS). A

estabilidade eletrostática das NEs é avaliada através do potencial zeta, o qual indica o grau de repulsão entre as partículas adjacentes com carga semelhante em dispersão. NEs com alto potencial zeta, negativo ou positivo (superiores a ± 30 mV), são consideradas estáveis eletrostaticamente. Em relação à avaliação da microestrutura são utilizadas técnicas como microscopia eletrônica de transmissão (MET), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia de força atômica (*Atomic Force Microscopy* - AFM), as quais permitem a obtenção de informações sobre o tamanho, forma e estado de agregação das NEs (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019; HASAN et al., 2020; SILVA et al., 2012).

A cristalinidade lipídica das NEs é determinada por calorimetria diferencial de varredura (DSC), na qual são obtidas informações como as diferenças de temperatura cristalina do óleo puro e do óleo em emulsão e, conseqüentemente, a influência da cristalização do óleo na estabilidade da NE (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019).

Outras técnicas como espectroscopia de infravermelho (FTIR), difração de raios X (DRX), ressonância magnética nuclear (RMN) e espalhamento de raios X a baixos ângulos (SAXS) podem ser utilizadas para caracterizar NEs. FTIR possibilita a identificação de diferentes materiais, sendo que as bandas de absorção correspondem às frequências de vibrações entre as ligações dos átomos presentes na amostra. DRX fornece informações acerca da estrutura cristalográfica, composição química e propriedade física, sendo principalmente utilizada para a identificação de compostos cristalinos por seu padrão de difração (SILVA et al., 2012). RMN tem sido utilizada para estudar os tipos, estrutura e propriedades de difusão dos componentes em NEs (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019). E, SAXS para caracterizar as partículas coloidais quanto à estrutura, forma e tamanho (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019; SILVA et al., 2012).

1.8 PROPRIEDADES E ESTABILIDADE

As NEs costumam ser opticamente quase transparentes devido ao tamanho das gotículas serem menores que o comprimento de onda da luz visível e são consideradas cineticamente estáveis (GUPTA et al., 2016). Para que NEs sejam estáveis por um período longo o uso de estabilizadores, como emulsificante ou modificador de textura, e o controle da microestrutura, como distribuição do tamanho das partículas, por exemplo, contribuem para que a estabilidade cinética seja melhorada (MCCLEMENTS & RAO, 2011).

Em vista do tamanho pequeno das gotículas, as NEs apresentam diversas vantagens, por exemplo, ao longo do armazenamento não ocorre formação de creme ou sedimentação, pois o movimento browniano das partículas supera a ação da separação gravitacional. Além disso, a floculação é evitada, permitindo que o sistema permaneça disperso, bem como a coalescência

(TADROS et al., 2004), pois a espessura da camada de surfactante adsorvida é comparável ao tamanho da gotícula, ocasionando forte estabilização estérica (GUPTA et al., 2016).

Como vantagem adicional as NEs são relativamente menos sensíveis a mudanças de diluição, temperatura e pH (GUPTA et al., 2016), além de serem necessárias menores concentrações de surfactante comparada com as microemulsões (TADROS et al., 2004), sendo as últimas sistemas transparentes ou translúcidos, termodinamicamente estáveis, formados de maneira espontânea a partir de dois líquidos imiscíveis necessitando de grandes quantidades de surfactantes para a estabilização (NAZAR et al., 2009).

No entanto, as NEs são altamente suscetíveis à desestabilização por amadurecimento de Ostwald, sendo importante projetar o sistema de forma que tal fato não ocorra (MCCLEMENTS & RAO, 2011). Em virtude das áreas superficiais específicas muito grandes, as NEs são suscetíveis a degradação química na interface óleo-água, como a oxidação de lipídios ou reações de degradação química pela penetração da luz ultravioleta e visível quando transparentes, podendo ser necessária a adição de antioxidantes ou agentes quelantes para melhorar a estabilidade química de componentes lábeis encapsulados em NEs (MCCLEMENTS & RAO, 2011).

1.9 APLICAÇÃO DE NANOEMULSÃO EM VEGETAIS MINIMAMENTE PROCESSADOS

A composição, técnica de obtenção e as propriedades das NEs aplicadas a vegetais minimamente processados, relatadas em diferentes estudos da literatura, estão apresentadas resumidamente na Tabela 1.

Tabela 1- Composição, técnica de obtenção e propriedades das nanoemulsões aplicadas em frutas ou vegetais minimamente.

Solução de revestimento	Composição da nanoemulsão	Composto ativo	Técnica de obtenção da NE	Tamanho (nm)	Potencial zeta (mV)	Aplicação	Referência
NE	Óleo de capim-limão, cera de carnaúba e T80	óleo de capim-limão	Homogeneização a alta pressão	56,4 e 87,9	ND	Bagos de uva	KIM et al. (2014)
NE com e sem mucilagem de nopal	S80 e α -tocoferol; glicerol e T80	α -tocoferol	Ultraturrax	190 e 247	< -40	Maçã	ZAMBRA NO-ZARAGOZA et al. (2014)
NE	Óleo de orégano, T80 e água	óleo de orégano	Ultrassonicação	148	-18	Alface	BHARGAVA et al. (2015)
NE	AS, água, T80, OE de capim-limão	OE de capim-limão	Microfluidização	62-364	-73 a -71	Maçã	SALVIA-TRUJILLO et al. (2015)
NE	Carvacrol, óleo de milho, T80 e água	carvacrol	Ultrassonicação	309	ND	Repolho	SOW et al. (2017)

Sol. de QM + NE	Carvacrol, óleo de girassol, monooleato de glicerol e T20 ou isolado proteico de soro de leite, água	OE de carvacrol	Homogeneização a alta pressão	113 e 115	-27,1e - 33,0	Pepino	TAŞTAN et al. (2017)
NE	Ácido <i>trans</i> -cinâmico puro, acetona, MCT, T80 e tampão PBS	ácido <i>trans</i> -cinâmico	Espontânea (baixa energia)	46,7	ND	Alface	LETSIDIDI et al. (2018)
Solução de PBTM + NE	OE de casca de laranja, pectina, T80 e água	OE de casca de laranja	Ultrassônica	79,7	ND	Laranja	RADI et al. (2018)
Solução de AS e glicerol + NE	Citral, óleo de gergelim, T80, água	citral	Ultrassônica	66,67–131,08	-50,33 a - 38,16	Abacaxi	PRAKASH et al. (2020)
NE	AS ou carboximetilcelulose, T80, ácido ascórbico e vanilina	ácido ascórbico e vanilina	Ultrassônica	220-335	-25 a - 20	Kiwi	MANZOR et al. (2021)

NE: nanoemulsão; T80: Tween 80; S80: Span 80; AS: Alginato de sódio; OE: óleo essencial; QM: Quitosana modificada; T20: Tween 20; MCT: triglicerídeo de cadeia média; PBS: tampão fosfato salino; PBTM: pectina com baixo teor de metoxil; ND: não determinado.

1.10 EFEITO ANTIMICROBIANO

NEs contendo compostos ativos podem ser utilizadas no desenvolvimento de embalagens, como revestimentos e filmes, para melhorar qualidade, propriedades funcionais, valor nutricional e vida útil de produtos frescos (ASWATHANARAYAN & VITTAL, 2019). O tamanho pequeno das gotículas pode aumentar o transporte de compostos ativos através das membranas biológicas, assim como aumentar a razão superfície-volume, proporcionando melhoras da funcionalidade dos revestimentos (HASAN et al., 2020). Alguns trabalhos na literatura avaliaram a eficiência de revestimentos comestíveis contendo NE na conservação de vegetais minimamente processados.

NEs de óleo de capim-limão (0; 0,5 e 3,0 g.100 g⁻¹), cera de carnaúba e Tween 80 foram desenvolvidas por KIM et al. (2014) através da técnica de homogeneização a alta pressão para revestimento de bagos de uva (*Vitis labruscana* Bailey) visando avaliar a inibição de *Salmonella* Typhimurium e *Escherichia coli* O157:H7. Ambos micro-organismos foram inoculados por imersão (4-5 log UFC.mL⁻¹) e as amostras avaliadas durante o armazenamento a 4 e 25 °C. Os resultados mostraram redução de *Salmonella* Typhimurium e *Escherichia coli* O157:H7 durante o armazenamento em ambas temperaturas quando utilizado os revestimentos incorporados de óleo de capim-limão em comparação com os bagos revestidos sem o óleo de capim-limão. O revestimento com 3,0 g.100 g⁻¹ de óleo de capim-limão foi mais eficaz do que baixar a temperatura de armazenamento para 4 °C na redução do crescimento de ambos os micro-organismos comparado com as amostras não revestidas a 4 °C. Quando o revestimento foi aplicado somente na casca da uva foi observado redução na contagem de *S. Typhimurium* e *E. coli* O157:H7 em mais de 3,2 e 2,6 log UFC.g⁻¹, respectivamente.

SALVIA-TRUJILLO et al. (2015) estudaram o efeito de revestimentos comestíveis à base de NE de óleo essencial de capim-limão em diferentes concentrações (0,1; 0,5 e 1% v/v) sobre os

parâmetros de segurança de maçãs *Fuji* minimamente processadas ao longo do tempo de armazenamento a 4 °C, bem como uma comparação entre revestimentos à base de NE e revestimentos obtidos de emulsões convencionais. As emulsões convencionais de alginato de sódio, água, óleo essencial de capim-limão e Tween 80 foram preparadas utilizando ultra-turrax, sendo estas posteriormente submetidas a microfluidizador para a produção das NEs. Os autores observaram inativação da *E. coli* inoculada (10^6 log UFC.g⁻¹) e completa inibição de fungos e leveduras e bactérias psicrófilas nas amostras revestidas com soluções contendo 0,5% ou 1% (v/v) de óleo essencial de capim-limão durante 2 semanas de armazenamento sob refrigeração. Na concentração de 0,1% (v/v), os revestimentos à base de NE de óleo essencial de capim-limão exibiram desempenho mais rápido e maior inibição de *E. coli*, bem como uma taxa de crescimento inferior de bactérias psicrófilas em comparação com revestimentos formados a partir de emulsões convencionais durante o armazenamento.

BHARGAVA et al. (2015) avaliaram a eficácia de NEs de óleo de orégano (0,05% ou 0,1% v/v) na inativação do crescimento de bactérias de origem alimentar em alface fresca, as quais foram cortadas em pedaços para representar pacotes de salada de alface prontos para consumo e armazenadas a 4 °C. A NE do tipo O/A composta por óleo de orégano, Tween 80 e água destilada foi preparada utilizando ultrassom de alta energia. Ambas as concentrações de óleo de orégano nas NEs foram capazes de inibir significativamente o crescimento microbiano frente à *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Typhimurium e *Escherichia coli* O157:H7 inoculadas (7,1, 6,9 e 6,3 log UFC.g⁻¹, respectivamente) em comparação com os controles, sendo relatadas redução de 3,44 e 3,57 logs na concentração de 0,05% e 0,1%, respectivamente, para *Listeria monocytogenes* e 3,26 log na concentração de 0,1% para *Salmonella* Typhimurium 72 h após o tratamento. Para *Escherichia coli* O157:H7 redução de 3,05 e 3,35 logs na concentração de 0,05% e 0,1%, respectivamente, 24 h após o tratamento com efeito mais forte observado para a NE com teor de 0,1% do óleo essencial.

A descontaminação de pepino (*Cucumis sativus*) minimamente processado por uma combinação de revestimento de quitosana modificada com NEs de carvacrol (0,03% e 0,08% m/m) foi avaliada por TAŞTAN et al. (2017). Para o preparo das NEs O/A foram utilizados óleo essencial de carvacrol, óleo de girassol, monooleato de glicerol, Tween 20, isolado proteico de soro e água utilizando homogeneizador a alta pressão. As soluções de revestimento consistiram na adição das NEs (3 e 2% m/m) em suspensão de quitosana modificada dissolvida em ácido acético (1% v/v) resultando em uma concentração de carvacrol de 0,03 e 0,08% m/m. Os autores relataram que em comparação com o controle (sem revestimento), o revestimento de quitosana modificada utilizado isoladamente não causou redução significativa da população de *E. coli* inoculada (10^7 UFC.g⁻¹), enquanto a incorporação das NEs de carvacrol ocasionaram uma ligeira redução (0,4 e 0,6 log UFC.g⁻¹ na

concentração de 0,03 e 0,08%, respectivamente). Após 24 h de incubação a 4 °C, a redução da população de *E. coli* foi mais pronunciada no revestimento contendo a NE na concentração de 0,08% de carvacrol (redução de 0,7 log UFC.g⁻¹).

NEs de carvacrol também foram avaliadas por SOW et al. (2017) em repolho minimamente processado. As NEs foram obtidas através da técnica de ultrassonicação. Para o preparo das formulações foram utilizados carvacrol, óleo de milho, Tween 80 e água deionizada. Neste estudo, foi verificado pelos autores redução de fungos e leveduras em comparação com o controle no dia 0, no entanto não houve redução de bactérias mesófilas e psicrófilas. Além disso, foi verificado que a atividade antimicrobiana do carvacrol foi perdida após 2 dias de armazenamento.

LETSIDIDI et al. (2018) aplicaram NEs de ácido *trans*-cinâmico em alface minimamente processada. A NE obtida através do método de emulsificação espontânea de baixa energia consistiu na mistura de ácido *trans*-cinâmico puro, acetona, triglicerídeos de cadeia média, tampão PBS 0,2 M (pH 6,0) e Tween 80. A fase aquosa e a fase oleosa foram utilizadas na proporção 1:1. Neste estudo, foi verificado uma redução, após o tratamento, de 65% das bactérias aeróbias mesófilas e 61% das bactérias psicrófilas em comparação com a amostra controle, enquanto o ácido *trans*-cinâmico puro apresentou redução de 30% e 22% das bactérias mesófilas e psicrófilas, respectivamente.

RADI et al. (2018) avaliaram o efeito de revestimentos comestíveis à base de pectina com baixo teor de metoxilas em combinação com duas concentrações de óleo essencial de casca de laranja (0,5 e 1,0% v/v) em sistemas microemulsionados e nanoemulsionados sobre o crescimento microbiano (contagem de bactérias mesófilas, fungos e leveduras) em laranja minimamente processada durante o armazenamento a 4 °C por 17 dias. A solução de pectina com baixo teor de metoxilas foi preparada na concentração de 2% em água e as microemulsões preparadas com solução de pectina com baixo teor de metoxilas, Tween 80, propanol e óleo essencial de casca de laranja. A NE consistiu de óleo essencial de casca de laranja, Tween 80 e água, a qual foi produzida utilizando sonicação. A concentração de óleo essencial (0,5 e 1%) foi obtida através da dissolução com a solução de pectina. Neste estudo, os autores observaram maiores efeitos antibacterianos e antifúngicos nas amostras revestidas com NE em comparação com os demais tratamentos, onde após 17 dias de armazenamento as amostras revestidas contendo NE com 1% de óleo essencial de casca de laranja apresentaram 5,83 e 6,93 log UFC.g⁻¹ (contagem microbiana e de fungos, respectivamente), enquanto os controles 6,73 e 7,66 log UFC.g⁻¹.

PRAKASH et al. (2020) avaliaram o efeito do revestimento comestível à base de alginato de sódio contendo diferentes concentrações de NE de citral (0,1%, 0,5% e 1% v/v) na contagem microbiana de abacaxis da variedade Queen minimamente processados, armazenados a 4 °C por 12 dias. As NEs compostas por citral, óleo de gergelim, Tween 80 e água foram preparadas por ultrassonicação. A solução de revestimento de alginato de sódio e glicerol (2% e 0,6% m/v,

respectivamente) foi obtida através de agitação magnética. A solução de revestimento foi misturada com a NE gota a gota em agitador magnético para obter uma solução final de revestimento com concentrações de 0,1%, 0,5% e 1% (v/v) de NE de citral. Como resultados, os autores relataram que a incorporação de NE de citral nos revestimentos comestíveis reduziu significativamente o crescimento microbiano em comparação às amostras de abacaxi não revestidas e revestidas de alginato, sendo que as concentrações de NE de citral mais elevadas (0,5% e 1,0% v/v) foram mais eficazes na redução da contagem total de mesófilos, fungos e leveduras. Além disso, a incorporação de 0,5% de NE de citral no revestimento também causou redução de 2,52 e 2,23 log UFC.g⁻¹ *Salmonella enterica* Typhimurium e *Listeria monocytogenes*, respectivamente, inoculadas artificialmente (10⁷ UFC.mL⁻¹).

MANZOOR et al. (2021) avaliaram o efeito de revestimentos de NEs na estabilidade microbiana de kiwis minimamente processados durante o armazenamento a 5 ± 1 °C por 7 dias. Os revestimentos de NEs foram preparados com alginato de sódio ou carboximetilcelulose, Tween 80, ácido ascórbico (0,5%) e vanilina (0,5 e 1,0%) utilizando ultra-turrax e posteriormente ultrassonicação para reduzir o tamanho das partículas. Os resultados mostraram redução da contagem de bactérias psicrófilas nas amostras revestidas em comparação com a amostra controle, apresentando ao final do armazenamento < 6 log UFC.g⁻¹ e 9,0 log UFC.g⁻¹, respectivamente. As amostras revestidas também mostraram redução na contagem de fungos e leveduras. Em ambos os casos, o revestimento de NE de carboximetilcelulose com 0,5% de ácido ascórbico e 1,0% de vanilina apresentou maior eficácia, sendo observado ao final de 7 dias de armazenamento a menor contagem de bactérias psicrófilas (4,1 log UFC.g⁻¹) e de fungos e leveduras (3,9 log UFC.g⁻¹).

Esses resultados demonstram o potencial das NEs para melhorar a segurança e vida útil de vegetais minimamente processados.

1.11 EFEITO NA COR

A cor é um fator importante na percepção da qualidade de vegetais durante sua vida útil (RADI et al., 2018). A mudança mais perceptível que ocorre nas frutas durante o armazenamento é o escurecimento, portanto torna-se uma preocupação na extensão da vida útil das frutas minimamente processadas (YOUSUF et al., 2018). Nestes produtos a enzima polifenoloxidase é a principal responsável pela alteração da cor (CORATO, 2020). Os revestimentos comestíveis podem atuar como uma barreira ao oxigênio retardando o escurecimento enzimático (RADI et al., 2018). Além disso, NEs contendo compostos antioxidantes naturais podem reduzir o índice de escurecimento de vegetais minimamente processados (HASAN et al., 2020).

ZAMBRANO-ZARAGOZA et al. (2014) avaliaram o efeito de revestimentos de emulsão e NE de α -tocoferol, com e sem mucilagem de nopal (*Opuntia ficus indica*), aplicados a maçãs minimamente

processadas sobre o índice de escurecimento e a atividade da polifenoloxidase, durante o armazenamento a 4 °C por 21 dias. As maçãs revestidas com a NE e NE com mucilagem apresentaram taxa de escurecimento mais lenta e escurecimento 30% menor que o controle. Esses tratamentos também apresentaram maior redução da atividade da polifenoloxidase em comparação com todos os outros revestimentos.

No estudo de SALVIA-TRUJILLO et al. (2015) com revestimentos comestíveis à base de NE e emulsão convencional com óleo essencial de capim-limão (0,1, 0,5 e 1% v/v) foi observada degradação gradual dos valores de cor (parâmetros L^* e h^o) de maçãs minimamente processadas revestidas com as emulsões ou NEs ao longo do armazenamento sob refrigeração, sendo observado maior escurecimento de acordo com o aumento da concentração do óleo essencial. No entanto, os autores observaram escurecimento ligeiramente inferior nas amostras revestidas com NEs em comparação com as emulsões convencionais.

KIM et al. (2014) avaliaram os parâmetros L^* , a^* e b^* em bagos de uva revestidos com NEs de óleo de capim-limão (0; 0,5 e 3 g.100 g⁻¹) e cera de carnaúba, sendo o valor de b^* (amarelecimento) o único afetado pelos revestimentos, comparado às bagas não revestidas, durante o armazenamento a 4 e 25 °C. No entanto, os autores relataram que essa característica não foi perceptível a olho nu.

Amostras de abacaxi minimamente processado revestidas com alginato de sódio incorporado de NE de citral (0,5 e 1% v/v) apresentaram melhor retenção de cor (maiores valores de L^* e b^*) em comparação com as amostras controle (PRAKASH et al., 2020). De acordo com os autores, as amostras de abacaxi revestidas com 0,5 e 1% de citral apresentaram controle do escurecimento, manutenção do brilho da superfície e boa aparência visual durante todo o período de armazenamento.

RADI et al. (2018) relataram menor redução do parâmetro L^* ao longo do armazenamento em amostras de laranja minimamente processada revestidas com pectina em combinação com duas concentrações de óleo essencial de casca de laranja (0,5 e 1,0%) em sistemas microemulsionados e nanoemulsionados em comparação com o controle.

1.12 EFEITO NA TAXA RESPIRATÓRIA

A taxa respiratória indica a velocidade em que um produto se deteriora, as injúrias nos tecidos aumentam a respiração resultando em redução da vida útil. Sendo assim, a redução da taxa de respiração é crítica para estender a vida útil de vegetais minimamente processados (LEE et al., 2003). NEs contendo compostos antioxidantes podem atuar no controle da taxa respiratória através de uma melhor distribuição do composto antioxidante no revestimento (ZAMBRANO-ZARAGOZA et al., 2014), contendo compostos lipofílicos, em virtude da natureza lipofílica, podem proporcionar aumento da resistência dos revestimentos à difusão de gás (SALVIA-TRUJILLO et al., 2015).

SALVIA-TRUJILLO et al. (2015) relataram uma diminuição significativa na respiração de maçãs minimamente processadas revestidas com NEs com óleo essencial de capim-limão nas concentrações de 0,5 ou 1% (v/v) em comparação com as amostras não revestidas. Similarmente, ZAMBRANO-ZARAGOZA et al. (2014) em seu estudo com revestimento de maçãs minimamente processadas com NEs de α -tocoferol e mucilagem de nopal (*Opuntia ficus indica*) relataram maior redução da taxa respiratória durante o armazenamento das maçãs revestidas com a NE (35 mL O₂.kg⁻¹ h⁻¹) comparada ao controle, solução de α -tocoferol e mucilagem (73, 63 e 61 mL O₂.kg⁻¹ h⁻¹). Além disso, uma redução da taxa de respiração também foi observada por PRAKASH et al. (2020) em abacaxis minimamente processados revestidos com alginato de sódio incorporado de NE de citral (0,5% e 1% v/v) em comparação com as amostras não revestidas.

1.13 EFEITO NA TEXTURA E PERDA DE MASSA

A firmeza é um atributo de qualidade desejável que contribui para o frescor do produto, enquanto a perda de massa ocorre, principalmente, pela evaporação da umidade resultando em encolhimento e deterioração, conseqüentemente, afetando a qualidade e o tempo de armazenamento (MANZOOR et al., 2021). NEs podem atuar como barreira de proteção à evaporação de água através da formação de uma camada espessa na superfície do alimento (MANZOOR et al., 2021).

PRAKASH et al. (2020) no estudo sobre revestimento comestível à base de alginato de sódio contendo diferentes concentrações de NE de citral (0,1%, 0,5% e 1% v/v) observaram que a redução da firmeza foi controlada nos abacaxis revestidos contendo NE na concentração de 0,1% em relação ao controle durante o armazenamento de 12 dias. No entanto, a incorporação de alta concentração de NE de citral (1%) levou a danos na textura.

Os revestimentos à base de NE e de emulsões convencionais com óleo essencial de capim-limão em diferentes concentrações (0,1, 0,5 e 1% v/v) não apresentaram influência significativa na firmeza de maçãs minimamente processadas no estudo realizado por SALVIA-TRUJILLO et al. (2015). Por outro lado, KIM et al. (2014) relataram redução da perda de massa de bagos de uva (*Vitis labruscana* Bailey) revestidos com NE de óleo de capim-limão (3,0 g.100 g⁻¹) e solução de cera de carnaúba durante o armazenamento a 4 e 25 °C e menor taxa de redução da firmeza em comparação com as amostras não revestidas em ambas temperaturas.

RADI et al. (2018) observaram perdas de massa significativamente menores de laranjas minimamente processadas revestidas com pectina em combinação com duas concentrações de óleo essencial de casca de laranja (0,5 e 1,0%) em sistemas microemulsionados e nanoemulsionados em comparação com a amostra controle. No entanto, não houve diferenças significativas entre as amostras

revestidas com diferentes concentrações de óleo essencial de casca de laranja na forma de microemulsão ou NE no final do armazenamento.

ZAMBRANO-ZARAGOZA et al. (2014) relataram menor perda de massa para maçãs minimamente processadas após 7 dias a 4 °C revestidas com NEs com α -tocoferol com e sem mucilagem de nopal (*Opuntia ficus indica*) em comparação com as amostras não revestidas, revestidas com mucilagem ou com emulsão com α -tocoferol e mucilagem. Os autores também observaram maior firmeza das maçãs revestidas com NE e mucilagem, seguida da NE em comparação com o controle ao final do armazenamento. Similarmente, MANZOOOR et al. (2021) relataram redução na taxa de perda de massa das amostras revestidas com NEs preparadas com alginato de sódio ou carboximetilcelulose com ácido ascórbico (0,5%) e vanilina (0,5 e 1%) em comparação com a amostra não revestida durante o armazenamento, sendo o revestimento com NE de alginato contendo 0,5% de ácido ascórbico e 0,5% de vanilina o que apresentou a menor perda de massa. As amostras revestidas com NEs também mostraram menor redução da firmeza no final do armazenamento.

1.14 ANÁLISE SENSORIAL DE VEGETAIS MINIMAMENTE PROCESSADOS COM NANOEMULSÕES

A realização da análise sensorial é importante visto que coberturas podem afetar o perfil de aroma e a aceitação de vegetais minimamente processados pelo consumidor, principalmente quando incorporadas de ativos aromáticos (PRAKASH et al., 2020).

Nesse sentido, PRAKASH et al. (2020) avaliaram o efeito de revestimentos de alginato de sódio com NEs de citral em termos de cor, textura, aparência, aroma, sabor e aceitabilidade geral de abacaxis minimamente processados nos dias 0, 9 e 12 de armazenamento. Como resultados, os autores verificaram que os atributos de cor e aparência dos abacaxis revestidos com NEs de citral (0,5 e 1% v/v) foram consideravelmente aprimorados em comparação com os demais tratamentos. No entanto, o atributo textura diminuiu durante o armazenamento, principalmente para as amostras revestidas com NEs na concentração de 1%, as quais apresentaram impacto negativo na textura e na aceitação sensorial. Durante o tempo de armazenamento, a aceitabilidade geral foi maior para as amostras revestidas com NE de citral 0,5%, a qual foi considerada a mais promissora para aplicações comerciais.

RADI et al. (2018) observaram pontuações sensoriais mais altas para laranjas minimamente processadas revestidas com pectina contendo microemulsão ou NE de óleo essencial de casca de laranja nos atributos de cor, aroma e aceitação geral comparadas com amostras controle durante o tempo de armazenamento, sendo a maior aceitação geral observada nas amostras revestidas com 1% de NE. De acordo com os autores, os revestimentos de NE contendo óleo essencial de casca de laranja

podem estender a vida útil de laranjas minimamente processadas sem causar impactos indesejáveis nos atributos sensoriais.

KIM et al. (2014) relataram que os revestimentos de bagas de uva com NEs de óleo de capim-limão (0; 0,5 e 3 g/100g) e cera de carnaúba não afetaram negativamente o sabor, enquanto apresentaram melhora do brilho.

2 CONCLUSÃO

Os estudos com o uso de NEs em vegetais minimamente processados se concentram na sua utilização como dispersões formadoras de filmes ou pela incorporação em revestimentos comestíveis, sendo os compostos ativos utilizados óleo de capim-limão, α -tocoferol, óleo de orégano, carvacrol, ácido *trans*-cinâmico, óleo essencial de casca de laranja, ácido ascórbico e vanilina combinados com diferentes formulações de NEs. Em geral, os métodos mais utilizados para a obtenção das NEs foram a homogeneização a alta pressão e a ultrassonicação. Os resultados antimicrobianos demonstraram redução de *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* e bactérias psicrófilas em diferentes produtos minimamente processados. Além disso, os estudos indicaram controle do escurecimento, menor redução da firmeza e da perda de massa, bem como redução da taxa respiratória nos vegetais minimamente processados revestidos com diferentes NEs. Ademais, em geral, não apresentaram impactos indesejáveis nos atributos sensoriais como cor e aparência. Dessa forma, os estudos têm demonstrado resultados promissores na manutenção da qualidade e na segurança dos vegetais minimamente processados.

AGRADECIMENTOS

Karina Oliveira Lima e Gustavo Richter Vaz agradecem ao CNPq e ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) do Brasil pelo apoio ao Laboratório NanoSul da Universidade Federal do Rio Grande - FURG (processo número 442576/2019-6).

REFERÊNCIAS

- Acevedo-fani, a. Et al. Nanoemulsions as edible coatings. *Current opinion in food science*, 2017. V. 15, p. 43–49. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2017.06.002>>.
- Ahvenainen, r. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in food science & technology*, 1996. V. 7, p. 179–187.
- Aswathanarayan, j. B.; vittal, r. R. Nanoemulsions and their potential applications in food industry. *Frontiers in sustainable food systems*, 2019. V. 3, p. 1–21. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00095>>.
- Bhargava, k. Et al. Application of an oregano oil nanoemulsion to the control of foodborne bacteria on fresh lettuce. *Food microbiology*, 2015. V. 47, p. 69–73. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2014.11.007>>.
- Corato, u. De. Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: a comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2020. V. 60, n. 6, p. 940–975. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1553025>>.
- Francis, g. A. Et al. Factors affecting quality and safety of fresh-cut produce. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2012. V. 52, p. 595–610.
- Francis, g. A.; o'beirne, d. Effects of vegetable type and antimicrobial dipping on survival and growth of listeria innocua and e. Coli. *International journal of food science and technology*, 2002. V. 37, p. 711–718. Disponível em: <<https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00622.x>>.
- Gupta, a. Et al. Nanoemulsions: formation, properties and applications. *Soft matter*, 2016. V. 12, n. 11, p. 2826–2841. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/c5sm02958a>>.
- Harris, l. J. Et al. Outbreaks associated with fresh produce: incidence, growth, and survival of pathogens in fresh and fresh-cut produce. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2003. V. 2, p. 78–141. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00031.x>>.
- Hasan, s. M. K. Et al. Nanoemulsion as advanced edible coatings to preserve the quality of fresh-cut fruits and vegetables: a review. *International journal of food science and technology*, 2020. V. 55, p. 1–10.
- Kabalnov, a. Ostwald ripening and related phenomena. *Journal of dispersion science and technology*, 2001. V. 22, n. 1, p. 1–12. Disponível em: <<https://doi.org/10.1081/dis-100102675>>.
- Kim, i.-h. Et al. Grape berry coatings of lemongrass oil-incorporating nanoemulsion. *Lwt - food science and technology*, 2014. V. 58, n. 1, p. 1–10. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.018>>.
- Lee, j. Y. Et al. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Lwt - food science and technology*, 2003. V. 36, p. 323–329. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/s0023-6438\(03\)00014-8](https://doi.org/10.1016/s0023-6438(03)00014-8)>.
- Letsididi, k. S. Et al. Antimicrobial and antibiofilm effects of trans-cinnamic acid nanoemulsion and its potential application on lettuce. *Lwt - food science and technology*, 2018. V. 94, p. 25–32.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.018>>.

Manzoor, s. Et al. Improving the shelf life of fresh cut kiwi using nanoemulsion coatings with antioxidant and antimicrobial agents. Food bioscience, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101015>>.

Mason, t. G. Et al. Nanoemulsions: formation, structure, and physical properties. Journal of physics: condensed matter, 2006. V. 18, n. 41, p. R635–r666.

Mcclements, d. J. Food emulsions: principles, practice, and techniques, 2nd edn. Boca raton, fl: crc, 2005.

Mcclements, d. J. Edible nanoemulsions: fabrication, properties, and functional performance. Soft matter, 2011. V. 7, p. 2297–2316. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/c0sm00549e>>.

Mcclements, d. J. Nanoemulsions versus microemulsions: terminology, differences, and similarities. Soft matter, 2012. V. 8, n. 6, p. 1719–1729. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/c2sm06903b>>.

Mcclements, d. J. Advances in edible nanoemulsions: digestion, bioavailability, and potential toxicity. Progress in lipid research, 2021. V. 81, p. 101081. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.plipres.2020.101081>>.

Mcclements, d. J. Et al. Nanoemulsion-based technologies for delivering natural plant-based antimicrobials in foods. Frontiers in sustainable food systems, 2021. V. 5, p. 35. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.643208>>.

Mcclements, d. J. Et al. Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components. Journal of food science, 2007. V. 72, n. 8, p. 109–124.

Mcclements, d. J.; rao, j. Food-grade nanoemulsions: formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity. Critical reviews in food science and nutrition, 2011. V. 51, n. 4, p. 285–330. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10408398.2011.559558>>.

Nazar, m. F. Et al. Microemulsion system with improved loading of piroxicam: a study of microstructure. Aaps pharmscitech, 2009. V. 10(4), p. 1286-1294.

Prakash, a. Et al. Essential oil based nanoemulsions to improve the microbial quality of minimally processed fruits and vegetables: a review. Food research international, 2018. V. 111, p. 509–523. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.066>>.

Prakash, a. Et al. Citral nanoemulsion incorporated edible coating to extend the shelf life of fresh cut pineapples. Lwt - food science and technology, 2020. V. 118, p. 108851. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108851>>.

Radi, m. Et al. The use of orange peel essential oil microemulsion and nanoemulsion in pectin-based coating to extend the shelf life of fresh-cut orange. Journal of food processing and preservation, 2018. V. 42, p. E13441. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/jfpp.13441>>.

Ramos, b. Et al. Fresh fruits and vegetables — an overview on applied methodologies to improve its quality and safety. Innovative food science and emerging technologies, 2013. V. 20, p. 1–15. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2013.07.002>>.

Salvia-trujillo, I. Et al. Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: impact on safety and quality attributes of fresh-cut fuji apples. *Postharvest biology and technology*, 2015. V. 105, p. 8–16. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.03.009>>.

Salvia-trujillo, I. Et al. Edible nanoemulsions as carriers of active ingredients: a review. *Annual review of food science and technology*, 2017. V. 8, p. 439–466. Disponível em: <<https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-025908>>.

Sanz, S. Et al. Effectiveness of chlorine washing disinfection and effects on the appearance of artichoke and borage. *Journal of applied microbiology*, 2002. V. 93, p. 986–993. Disponível em: <<https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2002.01773.x>>.

Silva, H. D. Et al. Nanoemulsions for food applications: development and characterization. *Food and bioprocess technology*, 2012. V. 5, n. 3, p. 854–867. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11947-011-0683-7>>.

Siroli, I. Et al. Innovative strategies based on the use of bio-control agents to improve the safety, shelf-life and quality of minimally processed fruits and vegetables. *Trends in food science and technology*, 2015. V. 46, n. 2, p. 302–310. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.014>>.

Sow, I. C. Et al. Carvacrol nanoemulsion combined with acid electrolysed water to inactivate bacteria, yeast in vitro and native microflora on shredded cabbages. *Food control*, 2017. V. 76, p. 88–95. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.01.007>>.

Tadros, T. Et al. Formation and stability of nano-emulsions. *Advances in colloid and interface science*, 2004. V. 108–109, p. 303–318. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cis.2003.10.023>>.

Taştan, Ö. Et al. Decontamination of fresh-cut cucumber slices by a combination of a modified chitosan coating containing carvacrol nanoemulsions and pulsed light. *International journal of food microbiology*, 2017. V. 260, p. 75–80. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.08.011>>.

Yousuf, B. Et al. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: a review. *Lwt - food science and technology*, 2018. V. 89, p. 198–209. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.051>>.

Zambrano-zaragoza, M. L. Et al. Fresh-cut red delicious apples coating using tocopherol/mucilage nanoemulsion: effect of coating on polyphenol oxidase and pectin methylesterase activities. *Food research international*, 2014. V. 62, p. 974–983. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.011>>.

Zambrano-zaragoza, M. L. Et al. Nanosystems in edible coatings: a novel strategy for food preservation. *International journal of molecular sciences*, 2018. V. 19, n. 3, p. 705. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ijms19030705>>.