

# Encapsulação de compostos bioativos por emulsão Pickering: revisão

## Pickering emulsions as encapsulation means of bioactive compounds: review

Carlos Andrés Beltrán<sup>a</sup>  [cabeltran@unadvirtual.edu.co](mailto:cabeltran@unadvirtual.edu.co)

Beatriz Guevara–Guerrero<sup>a,b,c\*</sup>  [beatriz.guevara@unad.edu.co](mailto:beatriz.guevara@unad.edu.co)

Juan Carlos Montero–Montero<sup>a</sup>  [juan.montero@unad.edu.co](mailto:juan.montero@unad.edu.co)

Magda Piedad Valdés–Restrepo<sup>a,b</sup>  [magda.valdes@unad.edu.co](mailto:magda.valdes@unad.edu.co)

<sup>a</sup>Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería. Colombia.

<sup>b</sup>Grupo de investigação BIOTICS.

<sup>c</sup>Universidade de São Paulo. Rua Alzira Silveira Pinheiro, Pirassununga, Brasil.

Recebido: 22/08/2022 Aceito:27/08/2022

**Citar, APA:** Beltrán, C. A., Guevara–Guerrero, B., Montero–Montero, J.C., y Valdés–Restrepo, M. (2022). Encapsulação de compostos bioativos por emulsão Pickering: revisão. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10 (1), 1–12. <https://doi.org/10.23850/24220582.5005>

**Sumário** A seguinte revisão bibliográfica sistemática teve como objetivo identificar os diferentes aspectos técnicos das emulsões Pickering, a importância e aplicação desta técnica na indústria de alimentos, com base nas propriedades mecânicas, físico-químicas e de estabilidade conferidos aos produtos alimentares. Nesta revisão bibliográfica, foram utilizadas diversas bases de dados acadêmicas, como Science Direct, Google Scholar, Scielo, Scopus, Elibro, entre outras. Como critério de seleção, foram considerados artigos científicos, livros, resenhas e todo material acadêmico relacionado ao assunto, e que foram publicados desde o ano de 2000 até o presente. De acordo com as fontes consultadas, verificou-se que este tipo de emulsão tem grande potencial para ser utilizado na produção de laticínios, bebidas, condimentos e da indústria alimentícia. Além disso, há uma crescente demanda por produtos com componentes alimentícios biologicamente ativos, nos quais as referidas emulsões aplicadas como agentes encapsulantes, auxiliam na preservação desses componentes, o que pode trazer benefícios nutricionais e de saúde aos consumidores. Uma investigação mais aprofundada das emulsões Pickering, ainda é necessária para avaliar o mecanismo de entrega, liberação de bioativos e compatibilidade com outros componentes de sistemas alimentares reais.

**Palavras-chave:** emulsões Pickering, compostos bioativos, encapsulamento, estabilidade.

**Abstract** TIdentify the different technical aspects of Pickering emulsions, the importance and application of this technique in the food industry is the main objective of this bibliographic review., depending on the mechanical, physicochemical and stability properties that support food products. A variety of academic databases were used in this review such as Science Direct, Google Scholar, Scielo, Scopus, Elibro, amongst others. As a selection criterion, scientific articles, books, reviews and all the academic material related to the subject which were published since the year 2000 to the current year were taken into account. According to the sources consulted, it was found that this type of emulsion has great potential to be used in the production of dairy products, beverages, condiments and other areas of the food industry. In addition, there is a growing demand for products with biologically active food components in which those emulsions can be applied as encapsulating agents to help to preserving these components, which can bring nutritional and health benefits to consumers. However, further investigation of Pickering emulsions is still required to assess the delivery mechanism, release of bioactives and also compatibility with other components of real food systems

**Keywords:** Pickering emulsions, bioactive compounds, encapsulation, stability.

## Introdução

Atualmente, a demanda por compostos alimentares biologicamente ativos e funcionais, imersos no desenvolvimento de produtos alimentícios, tem apresentado um aumento significativo, sendo as emulsões Pickering um dos métodos promissores de conservação e encapsulamento de bioativos na indústria alimentícia, por se tratar de uma emulsão estabilizada por partículas sólidas, além disso, essas propriedades não são tóxicas e permitem um equilíbrio entre as fases oleosa e aquosa (Shi *et al.*, 2016). Este fenômeno foi descoberto pela primeira vez por Ramsden, em 1903, e analisado pela primeira vez na literatura por Pickering, em 1907 (Dickinson, 2012), onde foi descrito de como a estabilidade das emulsões dependia do tamanho e umedecimento das partículas sólidas, tanto no meio aquoso quanto na fase oleosa, mas insolúvel em qualquer uma das duas fases (Dickinson, 2012).

Os compostos presentes nos alimentos podem ser instáveis ou sofrer alguma degradação por incompatibilidade, reduzindo sua eficácia. Daí a importância de desenvolver sistemas que permitam encapsular, proteger e promover a absorção desses compostos, sendo as emulsões Pickering uma opção para cumprir essa função e melhorar consideravelmente a estabilidade mecânica do processo de encapsulamento (González-Ortiz *et al.*, 2020).

O objetivo da revisão a seguir, é identificar as principais aplicações das emulsões Pickering como meio de encapsulamento de compostos bioativos na indústria. Também busca investigar os principais parâmetros que influenciam a estabilidade físico-química de emulsões Pickering incorporadas em produtos alimentícios.

## Metodología

No presente estudo, foi desenvolvida uma revisão da literatura científica. Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica diretamente

relacionada como as emulsões Pickering, que permitem o encapsulamento e a liberação controlada de compostos bioativos em matrizes alimentícias. Os critérios de busca aplicados foram: 1) definição de emulsões Pickering, 2) produção de emulsões Pickering, 3) Aplicação da Emulsão Pickering no Encapsulamento de Bioativos em Alimentos e 4) Estabilidade Físico-Química de Emulsões Pickering Incorporadas em Produtos Alimentícios. Os meios de informação consultados foram: ScienceDirect, Scopus, Google Acadêmico e Scielo, onde foram encontrados artigos científicos e capítulos de livros relacionados ao tema do trabalho. Os critérios de inclusão da bibliografia foram: 1) publicações científicas entre 2000 e 2022 2) publicações redigidas em inglês, português e espanhol. Posteriormente, a literatura científica que atendeu aos critérios supracitados, foi selecionada e organizada com os pontos mais relevantes de cada publicação.

## Resultados e discussão

### Emulsão Pickering

Uma emulsão de Pickering aplica partículas sólidas como um estabilizador que cumpre uma função tensoativa. O processo consiste na estabilização de emulsões óleo/água (O/A), através da utilização de partículas sólidas, que são absorvidas na superfície dos glóbulos de óleo, desenvolvendo assim uma estabilidade melhorada de tais emulsões, em relação a emulsões à base de tensoativo. A estabilização por partículas sólidas, confere propriedades específicas como alta resistência à coalescência (sendo este o principal benefício) e livre de tensoativos. As partículas sólidas, morfologicamente, devem ser menores que as da superfície das partículas sólidas pela água e pelo óleo, que origina a forte ancoragem na interface óleo-água (Aveyard *et al.*, 2003).

### Vantagens das emulsões Pickering

As emulsões Pickering têm ampla aplicação no campo da biomedicina, cosmética, entre outras. As vantagens mais relevantes das

emulsões Pickering são descritas abaixo (Yang *et al.*, 2017): 1. Utilizam partículas sólidas como emulsificantes como meio de estabilização da emulsão, que têm a possibilidade de absorver de forma irreversível na interface óleo/água. 2. A emulsão não é suscetível ao ambiente externo, como mudança de pH, força iônica, temperatura e estrutura do estágio de óleo do sistema. 3. Em comparação com as emulsões estabilizadas com surfactantes convencionais, as emulsões Pickering requerem menos porções de estabilizantes durante todo o processo de preparação. 4. Os materiais sólidos utilizados como substâncias naturais comestíveis, também apresentam boa biocompatibilidade e têm a

possibilidade de serem utilizados como veículos para o fornecimento de substâncias bioativas.

### Classificação de emulsões de Pickering

Em emulsões estabilizadas por partículas, a decisão sobre o tipo de emulsão depende daquela que é quantificada pelo ângulo de contato (Figura 1). De acordo com a regra de Bancroft, partículas hidrofílicas (ou seja, com ângulo de contato de  $90^\circ$ ) são mais adequadas para estabilizar emulsões água/óleo (A/O). As partículas que são completamente umedecidas pela água ou óleo permanecem dispersas nessa fase e não podem formar uma emulsão (Aveyard *et al.*, 2003).

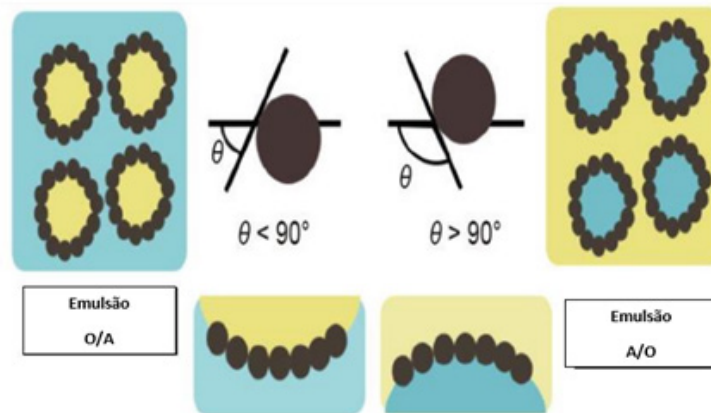


Figura 1

*Relação do ângulo da partícula ( $\vartheta$ ) e tipo de emulsão*  
Nota: Aveyard *et al.* (2003).

Emulsões Pickering podem ser classificadas em dois tipos (Berton-Carabin & Shroën, 2015):

**Emulsões de óleo em água (O/A).** Emulsões estabilizadas por partículas hidrofílicas. Se o ângulo ( $\theta$ ) (medido através da fase aquosa) for menor que  $90^\circ$ , as partículas são preferencialmente umedecidas com água, permitindo a estabilização desse tipo de emulsão (Figura 1) (Aveyard *et al.*, 2003).

**Emulsões de água em óleo (A / O).** Emulsões estabilizadas por partículas hidrofóbicas. Se as partículas estiverem impregnadas pelo óleo, o ângulo de contato será maior que  $90^\circ$ , sendo uma emulsão (A/O) (Figura 1) (Aveyard *et al.*, 2003)

### Funções das Nanopartículas na Emulsão Pickering

As nanopartículas sólidas, que substituem o surfactante convencional, desempenham um papel importante na preparação de emulsões de Pickering, por isso devem ter características particulares para atuar como estabilizador de emulsões. As características incluem o grau de umedecimento, que pode ser caracterizado pelo ângulo de contato na interface óleo-partícula-água (Aveyard *et al.*, 2003). Outra característica importante que deve estar presente é o tamanho das partículas, que tem um efeito profundo em sua energia de dessorção. Além disso, o tamanho das partículas também afeta o mecanismo de estabilização das emulsões Pickering (Wu & Ma, 2016).

As partículas que são comumente usadas para estabilizar emulsões de Pickering, são partículas de polissacarídeos, partículas de proteínas, partículas lipídicas e partículas inorgânicas (Rodrigues *et al.*, 2020). Dentre alguns tipos de partículas sólidas, temos partículas de amido, quitosana, nanocristais de celulose, proteína de soro de leite, cristais de gordura, proteínas de soja, hidroxiapatita, partículas de Janus (Tavernier *et al.*, 2016).

### *Processo de encapsulação de compostos bioativos em emulsões de Pickering*

O tamanho e as propriedades físico-químicas das partículas sólidas que são usadas como estabilizantes em uma emulsão, desempenham um papel importante na preparação de tais emulsões (González-Ortiz *et al.*, 2020). Atualmente, existe uma diversidade de partículas sólidas utilizadas na preparação de emulsões Pickering, onde os seguintes métodos devem ser levados em consideração de acordo com o tipo de partícula.

#### **Decomposição Mecânica ou Química.**

As partículas sólidas de grau alimentício são em sua maioria de tamanho grande, mas podem ser reduzidas por métodos mecânicos ou químicos; Entre essas partículas estão o amido natural e a celulose. Os métodos mecânicos mais comumente usados para redução de tamanho são, moagem criogênica, moagem úmida e homogeneização de alta pressão e alto cisalhamento, e o método químico mais comumente aplicado na indústria é a hidrólise ácida, reduzindo o tamanho das partículas insolúveis em água (Lu *et al.*, 2019).

**Preparação de partículas de gel.** As partículas de gel geralmente incluem proteínas e complexos de proteína-polissacarídeos, que são conectados a outros por meio de ligações covalentes, para formar um polímero de rede espacial sob certas condições. As partículas de gel de proteína são anfífilas e têm atividade

superficial na interface entre óleo e água (Guo *et al.*, 2016)

### *Método de Elaboração*

O método de preparação das biopartículas sólidas, definir o método de preparação da emulsão de Pickering. Dentre os métodos mais comuns, temos:

**Homogeneização rotor-estator.** Um homogeneizador que é composto por um rotor e um estator. Devido à aceleração causada pela rotação de alta velocidade do líquido no dispositivo e a força de cisalhamento entre o rotor e o estator, o tamanho da gota de emulsão é reduzido. Além disso, para reduzir o tamanho médio das partículas de produtos homogêneos, o espaço entre o estator e o rotor deve ser reduzido. O tamanho da gota de emulsão é afetado pelo tempo de homogeneização e pela velocidade de rotação (Albert *et al.*, 2019).

**Homogeneização de alta pressão e emulsificação ultrassônica.** O método de homogeneização de alta pressão é um processo de emulsificação contínua mais comumente usados para preparar emulsões de Pickering. Seus principais equipamentos incluem bombas de alta pressão e bicos homogêneos (Dumay *et al.*, 2013). Os parâmetros de processamento UHPH, como o nível de pressão de homogeneização, reciclagem, homogeneização de um ou dois estágios, temperatura inicial do fluido processado e alguns aspectos da formulação da emulsão que foram investigados nos últimos estudos (Dumay *et al.*, 2013).

**Emulsificação de Membrana.** É um método prensado a fase dispersa pura ou emulsão primária em uma membrana microporosa, controlando a velocidade de injeção e as condições de cisalhamento. Esse método pode ser classificado em dois tipos: emulsificação



direta por membrana e emulsificação por membrana pré-misturada (Manga *et al.*, 2012).

### *Mecanismo de Estabilidade de Emulsões Pickering*

Para entender melhor os mecanismos de estabilidade em emulsões Pickering, as seguintes definições são apresentadas a seguir:

**Sedimentação.** Gotas com densidade maior que a fase contínua tendem a afundar e formar uma camada no fundo da emulsão. (Saari *et al.*, 2016).

**Creme.** Gotículas com densidade menor que a fase contínua tendem a subir e formar uma camada de gotículas no topo da emulsão. (Saari *et al.*, 2016).

**Floculação.** Ocorre quando duas ou mais partículas ou gotículas se associam para formar um agregado maior, mantendo seu tamanho inicial. (Whitby *et al.*, 2016).

**Coalescência.** Descreve a fusão de duas ou mais gotículas em gotículas maiores após afinamento e ruptura do filme líquido entre as gotículas (Wu *et al.*, 2015).

O amadurecimento de Ostwald é outro mecanismo de estabilização de emulsões de Pickering, no qual gotículas menores crescem gradualmente para gotículas maiores, devido à difusão massiva de moléculas da fase dispersa para a fase contínua. (Thompson *et al.*, 2018).

O mecanismo de estabilização das emulsões Pickering é baseado no acúmulo de partículas sólidas na interface óleo-água em uma camada densamente compactada, o que

impede a floculação e coalescência da emulsão por repulsão eletrostática (Dickinson, 2012).

Os estudos da estabilidade mecânica das emulsões Pickering, focam na eficácia das partículas sólidas como emulsificantes no efeito do umedecimento e morfologia (tamanho médio de gotículas e índice de polidispersidade). Parâmetros críticos adicionais são a natureza do óleo, a concentração de partículas, a fração de volume da fase e a ordem de adição durante a fabricação (González-Ortiz *et al.*, 2020). Além disso, a microestrutura da camada interfacial absorvida, desempenha um papel crítico na investigação da estabilidade física das emulsões, onde a resistência à coalescência e amadurecimento de Ostwald e a espessura da camada interfacial que se forma ao redor das emulsões, podem ser examinadas (Ho *et al.*, 2016).

### *Teoria do filme de interface de partículas sólidas*

A Interface de partículas sólidas se produz, devido à força capilar nas partículas sólidas parcialmente umedecidas em duas fases que podem ser adsorvidas na interface para formar um filme de partículas denso de camada única ou multicamada. Assim, o filme de partículas é uma barreira física que pode impedir que as gotículas se toquem e se agreguem umas às outras, o que aumenta o impedimento estérico e melhora a reologia e as propriedades de cisalhamento do filme de interface (Linke & Drusch, 2018).

### *Mecanismo de rede de partículas viscoelásticas tridimensionais*

Refere-se à formação de uma estrutura de rede tridimensional entre partículas e partículas, e entre partículas e gotículas sob a força de Van Der Waals, que também é um fator importante na estabilização de emulsões de Pickering. Estudos mostraram que essa estrutura pode

umentar a viscosidade da emulsão, reduzem a velocidade de migração das partículas e reduzem a velocidade de fusão das gotículas, o que retarda a delaminação da emulsão e evita à agregação das gotículas, outros aspectos como mol habilidade, concentração de partículas sólidas e a concentração de eletrólitos, o valor de pH da fase aquosa. Todos têm efeitos sobre a estabilidade de Pickering emulsões (Abend *et al.*, 1998)

### Aplicação da Emulsão Pickering no Encapsulamento de Bioativos em Alimentos

Atualmente, existem duas categorias principais de partículas de grau alimentício que são utilizadas para a preparação de emulsões Pickering, sendo a primeira os polissacarídeos, dos quais temos o amido e a celulose como os mais comuns. Além disso, estudos estão sendo realizados com outros polissacarídeos pouco comuns como ciclodextrina, alginato, quitosana e derivados de celulose (Duffus, 2016).

Entre as proteínas temos a prolamina (proteína solúvel em álcool) que se tornou importante porque pode ser montada em partículas coloidais, zeína, isolado de proteína de soro de leite, isolado de proteína de soja e partículas de microgel à base de proteína de soja (Guo, 2021).

**Tabela 1**

#### Compostos bioativos encapsulados pela Emulsão Pickering

Tipo de emulsão Pickering	Nanopartícula estabilizadora	Composto bioativo	Referência
O/A	Amido de quinua	Trans-reveratrol	(Matos <i>et al.</i> , 2018)
	Amido de arroz	Licopeno	(Jain <i>et al.</i> , 2020)
	Amido de milho	Curcumina	(Lu <i>et al.</i> , 2019)
	Celulose	Vitamina D	(Winuprasith <i>et al.</i> , 2018)
	Quitosana-alginato	Tocotrienóis	(Tan <i>et al.</i> , 2018)
	Fitoesteróis	Isolado protéico de soro	(Zhou <i>et al.</i> , 2022)
	Carboximetilcurdlano octadecilaminado	óleo essencial de cravo	(Li <i>et al.</i> , 2022)
	Amido de milho	Indol-3-carbinol	(Zheng <i>et al.</i> , 2022)
	Glucano octenil succinato de tipo dendrímero de milho açucarado	B-caroteno	(Shi <i>et al.</i> , 2022)

Nota. Elaboração própria.

Gu *et al.* (2022) relataram nanopartículas híbridas de proteína/polissacarídeos naturais, originárias de soro de queijo fermentado com *Lactobacillus plantarum*. As emulsões obtidas apresentaram comportamento tipo gel com excelente estabilidade frente a variações de pH, força iônica e temperatura.

As propriedades das partículas têm um grande efeito nas propriedades da interface e nas características de fluxo da emulsão. Em emulsões de Pickering, devido à camada sólida interfacial única e seu efeito de impedimento estérico.

Os materiais ativos são difíceis de transbordar através da interface se estiverem encapsulados na fase dispersa. Entretanto, a emulsão possui alta estabilidade de encapsulamento e pode ser utilizada para estabilizar substâncias biologicamente ativas em sistemas alimentícios. Além disso, em comparação com as emulsões convencionais, a emulsão Pickering reduz os riscos potenciais de segurança alimentar, pois evita o uso de surfactantes sintéticos de pequenas moléculas (Guo, 2021). Abaixo, são listados alguns biocompostos encapsulados por meio da emulsão de Pickering, principalmente para fins alimentícios (Tabela 1).

Com relação ao uso das emulsões Pickering para encapsulamento e liberação de bioativos em matrizes alimentícias, é necessário aprofundar o estudo das nanopartículas e seus efeitos no corpo humano. A biodegradação de nanopartículas deve ser pesquisada, uma vez que para melhorar o umedecimento das partículas, elas precisam ser modificadas por absorção ou enxerto químico. Este tipo de emulsão tem potencial

para ser amplamente utilizado em produtos lácteos, bebidas, condimentos, entre outras áreas alimentícias, sendo um ponto chave de pesquisas que permitem o desenvolvimento de alimentos funcionais com ênfase na segurança e saúde alimentar. As principais características comparativas entre uma emulsão convencional e Pickering são descritas a seguir (Tabela 2).

**Tabela 2**

*Comparação dos fatores que afetam a estabilidade das emulsões*

Fator que afeta a estabilidade	Emulsão Pickering	Emulsão convencional
Concentração de partículas	As partículas sólidas devem ser absorvidas na interface óleo-água para atuar como emulsificantes. A estabilidade da emulsão tende a aumentar proporcionalmente com a concentração de partículas, à medida que a concentração de partículas aumenta, a emulsão é estável contra coalescência por mais tempo, devido ao fato de mais partículas poderem ir para a interface e melhorar a estabilidade da emulsão (Aveyard <i>et al.</i> , 2003).	São utilizadas moléculas de surfactantes: Os surfactantes são compostos de natureza anfífilica, sendo formados por uma parte hidrofílica e uma parte hidrofóbica. Essa dupla afinidade permite que eles se localizem na interface, reduzindo a tensão superficial e aumentando a estabilidade da emulsão (Matos <i>et al.</i> , 2020).
Umedecimento	É quantificado pelo ângulo de contato. De acordo com a regra de Bancroft, partículas hidrofílicas (ou seja, com um ângulo de contato < 90° medido através da fase aquosa), são melhores para estabilizar emulsões O/A. Em contraste, partículas hidrofóbicas (ou seja, com ângulo de contato > 90°), são mais adequadas para estabilizar emulsões A/O (Aveyard <i>et al.</i> , 2003). As variações de pH podem alterar a hidrofobicidade e, conseqüentemente, o umedecimento das partículas (He <i>et al.</i> , 2013)	Devido à sua dupla afinidade por moléculas tensoativas, a parte hidrofílica é atraída pela fase aquosa, enquanto a parte lipofílica é atraída pela fase oleosa. Esse fenômeno, chamado de absorção, faz com que a tensão interfacial entre água e óleo diminua, o que aumenta a estabilidade da emulsão (Matos <i>et al.</i> , 2020).
Emulsão Pickering	Através do uso de partículas sólidas, o fenômeno de coalescência é reduzido desde que seja feita uma formulação correta (Matos <i>et al.</i> , 2020).	O sistema HLB (Balanço hidrofílico-lipofílico) é um método semiempírico para prever que tipo de propriedades tensoativas uma estrutura molecular irá fornecer (Matos <i>et al.</i> , 2020).
Fator que afeta a estabilidade	A forma das partículas governa seu comportamento na interface e, conseqüentemente, sua capacidade de estabilizar a emulsão. A emulsificação ótima é alcançada em água razoavelmente pura (pH 6,4); qualquer variação importante do pH leva à supressão ou mesmo à não formação de uma emulsão (Saari <i>et al.</i> , 2016)	A morfologia não afeta a estabilidade da emulsão, pois são usados tensoativos sintéticos (Saari <i>et al.</i> , 2016).

Nota. Elaboração própria.

### Estabilidade Físico-Química de Emulsões Pickering Incorporadas em Produtos Alimentícios

**Estabilidade Física.** Em estudos realizados, as emulsões Pickering apresentam maior resistência à coalescência e amadurecimento de

Ostwald em comparação às emulsões clássicas estabilizadas por surfactantes ou biopolímeros, devido à ancoragem irreversível das partículas na interface e à formação de uma rede 3D como resultado específico de interações entre partículas (Shi *et al.*, 2016).

As emulsões Pickering estabilizadas por partículas de grau alimentício, como partículas de amido de quinoa, foram estáveis à coalescência mesmo após um período de armazenamento de mais de dois anos (Timgren *et al.*, 2011). Segundo os autores, essa notável estabilidade, impossível de ser alcançada em emulsões estabilizadas por tensoativos, deve-se à espessa camada de grânulos de amido de quinoa que recobre as gotículas.

Excelente estabilidade a longo prazo também foi obtida usando outros tipos de partículas de grau alimentício, como nanopartículas lipídicas sólidas (Gupta & Rousseau, 2012), partículas de microgel à base de soja (Guo *et al.*, 2016), partículas de celulose à base de soja (Tang *et al.*, 2014) e partículas de quitosana (Liu *et al.*, 2012).

Os resultados indicam que as emulsões Pickering podem ser compatíveis com o sistema alimentar, se a emulsão apropriada for utilizada, uma vez que sua estabilidade a longo prazo as torna atraentes para o encapsulamento e entrega de bioativos, embora sejam necessários mais estudos de compatibilidade dessas emulsões em vários tipos de sistemas alimentícios reais.

**Estabilidade oxidativa.** Foi verificado que as emulsões Pickering têm melhor estabilidade química quando comparadas com as emulsões convencionais (Kargar *et al.*, 2011). Esses autores descobriram que as partículas de sílica poderiam reduzir o grau de oxidação lipídica muito mais do que dois surfactantes. Essa estabilidade oxidativa melhorada, deve-se à formação de uma camada interfacial mais espessa pelas partículas de sílica (Zhao *et al.*, 2013). A estabilidade oxidativa de emulsões estabilizadas usando partículas de grau alimentício, como celulose cristalina e partículas de amido, também foi comparada (Kargar *et al.*, 2011).

Como as partículas de celulose microcristalina podem formar camadas interfaciais mais espessas e eliminar os radicais livres, elas foram mais eficazes em retardar a taxa de deterioração oxidativa do que as partículas de amido (Xiao *et al.*, 2015). Observações semelhantes foram obtidas usando outras partículas com propriedades antioxidantes intrínsecas, como partículas do complexo zeína/ quitosana (Wang *et al.*, 2015).

Foi demonstrado que a estabilidade da curcumina pode ser melhorada encapsulando-a em uma emulsão estabilizada com agregados de sílica de carga oposta, devido à formação de uma espessa camada interfacial (Zhao *et al.* 2014). Recentemente, a emulsão Pickering composta por nanopartículas de glúten de trigo e goma xantana, também foi utilizada para estabilizar esta emulsão, que continha betacaroteno, encontrando uma alta capacidade de retenção de bioativos, pois 90% do betacaroteno pode ser detectado mesmo após um período de armazenamento de 30 dias (Fu *et al.*, 2019).

Outro estudo importante, com foco na eficácia da emulsão Pickering estabilizada por partículas à base de celulose na preservação da atividade antibacteriana de óleos essenciais, foi recentemente relatado para cinamaldeído, eugenol e limoneno (Mikulcová *et al.*, 2016).

As emulsões Pickering, conforme detalhado nesta revisão de literatura, caracterizam-se por conter partículas sólidas que podem estabilizar sua estrutura. As partículas sólidas de grau alimentício, possuem um alto grau de segurança, mas possuem pouco umedecimento na fase oleosa e aquosa. Portanto, eles precisam ser modificados por absorção ou enxerto químico, pois as emulsões estabilizadas por uma única partícula não são muito estáveis, o que com o tempo causará a degradação da emulsão.



## Caracterização Físico-Química da Emulsão Pickering

As propriedades das emulsões, em particular sua persistência ou estabilidade, dependem de fenômenos diferentes daqueles produzidos pelos tensoativos, em algumas ocasiões as partículas podem produzir casos muito interessantes nas aplicações, mas extremamente complexos nos fenômenos produzidos pela presença de partículas na interface de emulsões contendo água e óleo.

**Coalescência.** É definido como um processo físico de fusão de dois ou mais glóbulos de óleo em um glóbulo maior. Processo de separação das fases de uma emulsão, por efeitos de atração. A instabilidade pode ser observada nas mudanças na distribuição dos glóbulos de óleo e na reorganização das moléculas que participam da emulsão (Figura 2) (Álvarez *et al.*, 2009).

**Agregação.** A agregação ocorre quando os glóbulos da fase interna da emulsão formam pequenos grupos sem ainda se fundirem em

vários grupos maiores. Esse estado pode ser definido como pré-instabilidade, evidenciado pela diminuição da viscosidade (Figura 2) (Álvarez *et al.*, 2009).

**Cremado.** Pode ser descrito como o movimento das células sanguíneas em direção ao topo do sistema, sob o efeito da gravidade. Geralmente, a formação de creme ocorre basicamente devido a dois efeitos principais, o tamanho do glóbulo de óleo e a diferença de densidade entre as fases envolvidas (Figura 2) (Dukhin *et al.*, 2006).

**Quebra.** É a separação de uma emulsão em fases oleosa e aquosa. (Figura 2) (Álvarez *et al.*, 2009).

**Emulsão estável.** São eles que, uma vez formados, os líquidos permanecem unidos e não se separam (Figura 2) (Álvarez *et al.*, 2009).

A seguir, são descritas, brevemente, as principais características físico-químicas de uma Emulsão Pickering:

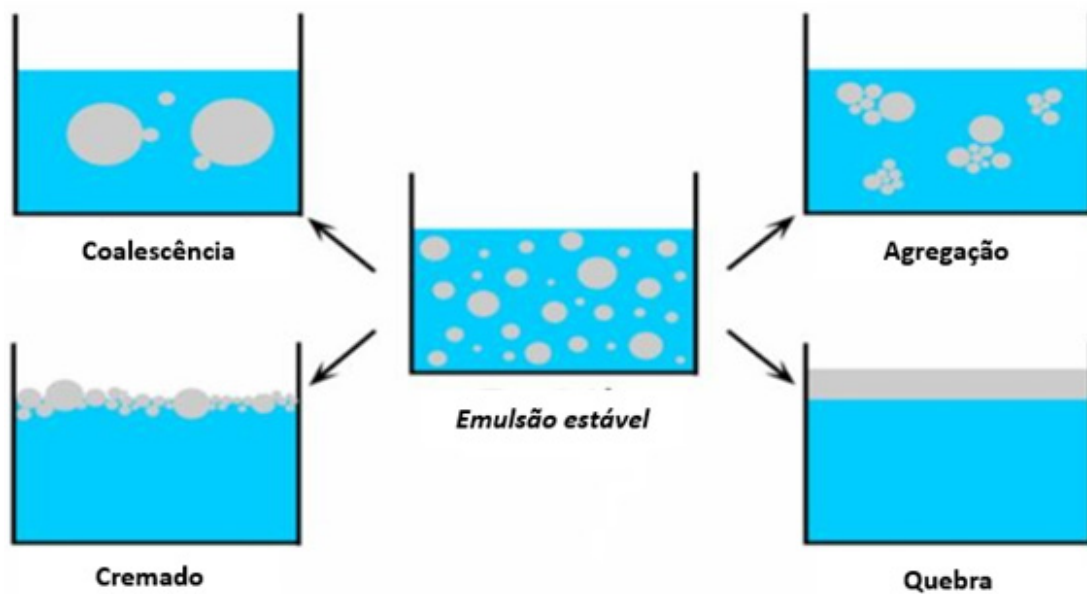


Figura 2

Fenômenos físicos que podem ocorrer na emulsão Pickering

Nota. Incuve (2022).

## Conclusões

As emulsões Pickering são um sistema de mistura que usa partículas sólidas como estabilizador. Os dois tipos mais comuns são emulsões Pickering água/óleo (A/O) e óleo/água (O/A). Quando comparada às emulsões convencionais, a emulsão Pickering apresenta diversas vantagens como segurança e boa estabilidade, por isso é cada vez mais utilizada na indústria alimentícia. As emulsões Pickering tem potencial para ser amplamente utilizada em produtos lácteos, bebidas, condimentos e outras áreas alimentícias. Além disso, atualmente, devido à crescente demanda por produtos com componentes alimentares biologicamente ativos e funcionais está aumentando, já que esses ingredientes podem potencializar os efeitos da maioria das doenças crônicas e de estilo de vida, como obesidade, diabetes e câncer, tornando a emulsão de Pickering um foco de pesquisa. Entretanto, mais pesquisas ainda são necessárias para avaliar o mecanismo de entrega e liberação de bioativos, e também a compatibilidade com sistemas alimentares reais.

## Referências

- Abend, S., Bonnke, N., Gutschner, U., & Lagaly, G. (1998). Stabilization of emulsions by heterocoagulation of clay minerals and layered double hydroxides. *Colloid and Polymer Science*, 276 (8), 730–737. <https://doi.org/10.1007/s003960050303>
- Albert, C., Beladjine, M., Tsapis, N., Fattal, E., Agnely, F., & Huang, N. (2019). Pickering emulsions: Preparation processes, key parameters governing their properties and potential for pharmaceutical applications. *Journal of Controlled Release*, 309 (1), 302–332. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2019.07.003>
- Álvarez, R., Liendo, L., Vargas, J., & López, de R., Aura. (2009). Estudio de la coalescencia de burbujas en sistemas electrolíticos. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 24 (3), 33–39. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652009000300003&lng=es&lng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652009000300003&lng=es&lng=es)
- Aranberri, I., Binks, B., Clint, J., & Fletcher, P. (2006). Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7 (3). <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/08/2006-aranberri.pdf>
- Arditty, S., Whitby, C. P., Binks, B. P., Schmitt, V., & Leal-Calderon, F. (2003). Some general features of limited coalescence in solid-stabilized emulsions. *The European physical journal. E*, 11 (3), 273–281. <https://doi.org/10.1140/epje/i2003-10018-6>
- Aveyard, R., Binks, B. P., & Clint, J. H. (2003). Emulsions stabilised solely by colloidal particles. *Advances in Colloid and Interface Science*, 503–546. [https://doi.org/10.1016/S0001-8686\(02\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S0001-8686(02)00069-6)
- Berton-Carabin, C. C., & Schroën, K. (2015). Pickering Emulsions for Food Applications: Background, Trends, and Challenges. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6 (1), 263–297. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-081114-110822>
- Dickinson, E. (2012). Use of nanoparticles and microparticles in the formation and stabilization of food emulsions. *Trends in Food Science & Technology*, 24 (1), 4–12. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.09.006>
- Duffus, L. J., Norton, J. E., Smith, P., Norton, I. T., & Spyropoulos, F. (2016). A comparative study on the capacity of a range of food-grade particles to form stable O/W and W/O Pickering emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 473, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.03.060>
- Dukhin, S., Sjöblom, J. & Sæther, Ø. (2006). An Experimental and Theoretical Approach to the Dynamic Behavior of Emulsions. En Sjöblom, J. (Ed.), *Emulsions and Emulsion Stability*, 106. Second Edition. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420028089>
- Dumay, E., Chevalier-Lucia, D., Picart-Palmade, L., Benzaría, A., Gracia-Juliá, A., & Blayo, C. (2013). Technological aspects and potential applications of (ultra) high-pressure homogenisation. *Trends in Food Science & Technology*, 31 (1), 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.03.005>
- Fu, D., Deng, S., McClements, D. J., Zhou, L., Zou, L., Yi, J., Liu, C., & Liu, W. (2019). Encapsulation of  $\beta$ -carotene in wheat gluten nanoparticle-xanthan gum-stabilized Pickering emulsions: Enhancement of carotenoid stability and bioaccessibility. *Food Hydrocolloids*, 89, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.032>
- González-Ortiz, D., Pochat-Bohatier, C., Cambedouzou, J., Bechelany, M., & Miele, P. (2020). Current Trends in Pickering Emulsions: Particle Morphology and Applications. *Engineering*, 6 (4), 468–482. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.08.017>
- Gu, R., Li, C., Shi, X., & Xiao, H. (2022). Naturally occurring protein/polysaccharide hybrid nanoparticles for stabilizing oil-in-water Pickering emulsions and the formation mechanism. *Food Chemistry*, 395, 133641. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133641>
- Guo, J., Zhou, Q., Liu, Y.-C., Yang, X.-Q., Wang, J.-M., Yin, S.-W., & Qi, J.-R. (2016). Preparation of soy protein-based microgel particles using a hydrogel homogenizing strategy and their interfacial properties. *Food Hydrocolloids*, 58, 324–334. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.03.008>
- Guo, Q. (2021). Progress in the preparation, stability and functional applications of Pickering emulsion. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 639 (1), 12028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/639/1/012028>

- Gupta, R., & Rousseau, D. (2012). Surface-active solid lipid nanoparticles as Pickering stabilizers for oil-in-water emulsions. *Food & Function*, 3 (3), 302–311. <https://doi.org/10.1039/C2FO10203j>
- He, Y., Wu, F., Sun, X., Li, R., Guo, Y., Li, C., Zhang, L., Xing, F., Wang, W., & Gao, J. (2013). Factors that affect Pickering emulsions stabilized by graphene oxide. *ACS applied materials & interfaces*, 5 (11), 4843–4855. <https://doi.org/10.1021/am400582n>
- Ho, K. W., Ooi, C. W., Mwangi, W. W., Leong, W. F., Tey, B. T., & Chan, E. S. (2016). Comparison of self-aggregated chitosan particles prepared with and without ultrasonication pretreatment as Pickering emulsifier. *Food Hydrocolloids*, 52, 827–837. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.019>
- Horozov, T., Aveyard, R., Clint, J. y Neumann, B. (2005). Particle Zips: Vertical Emulsion Films with Particle Monolayers at Their Surfaces. *Langmuir*, 21 (6), 2330–2341. <https://doi.org/10.1021/la047993p>
- Jain, S., Winuprasith, T., & Suphantharika, M. (2020). Encapsulation of lycopene in emulsions and hydrogel beads using dual modified rice starch: Characterization, stability analysis and release behaviour during in-vitro digestion. *Food Hydrocolloids*, 104, 105730. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105730>
- Kargar, M., Spyropoulos, F., & Norton, I. (2011). The effect of interfacial microstructure on the lipid oxidation stability of oil-in-water emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 357 (2), 527–533. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.02.019>
- Li, H., Wu, C., Yin, Z., Wu, J., Zhu, L., Gao, M., & Zhan, X. (2022). Emulsifying properties and bioavailability of clove essential oil Pickering emulsions stabilized by octadecylaminated carboxymethyl curdlan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 216, 629–642. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.029>
- Linke, C., & Drusch, S. (2018). Pickering emulsions in foods - opportunities and limitations. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58 (12), 1971–1985. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1290578>
- Liu, H., Wang, C., Zou, S., Wei, Z., & Tong, Z. (2012). Simple, Reversible Emulsion System Switched by pH on the Basis of Chitosan without Any Hydrophobic Modification. *Langmuir*, 28, 11017–11024. <https://doi.org/10.1021/la302111j>
- Lu, X., Li, C., & Huang, Q. (2019). Combining in vitro digestion model with cell culture model: Assessment of encapsulation and delivery of curcumin in milled starch particle stabilized Pickering emulsions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 917–924. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.078>
- Manga, M. S., Cayre, O. J., Williams, R. A., Biggs, S., & York, D. W. (2012). Production of solid-stabilised emulsions through rotational membrane emulsification: influence of particle adsorption kinetics. *Soft Matter*, 8 (5), 1532–1538. <https://doi.org/10.1039/C1SM06547E>
- Matos, M., Laca, A., Rea, F., Iglesias, O., Rayner, M., & Gutiérrez, G. (2018). O/W emulsions stabilized by OSA-modified starch granules versus non-ionic surfactant: Stability, rheological behaviour and resveratrol encapsulation. *Journal of Food Engineering*, 222, 207–217. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.009>
- Matos, M., Luque, S., & Gutiérrez, G. (2020). Formulación y estabilidad de emulsiones para encapsulación de biocompuestos. *Anales de Química*, 116 (2), 69–80. <https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/1184>
- Mikulcová, V., Bordes, R., & Kašpárková, V. (2016). On the preparation and antibacterial activity of emulsions stabilized with nanocellulose particles. *Food Hydrocolloids*, 61, 780–792. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.031>
- Persson, K. H., Blute, I. A., Mira, I. C. (2014). Gustafsson, J. Creation of well-defined particle stabilized oil-in-water nanoemulsions. *Colloids Surfaces A*, 459, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.06.034>
- Rodrigues, C. A. L., Gomes, A., de Figueiredo, F. G., Tibolla, H., Menegalli, F. C., & Lopes, C. R. (2020). Modulating in vitro digestibility of Pickering emulsions stabilized by food-grade polysaccharides particles. *Carbohydrate Polymers*, 227 (1), 115344. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115344>
- Saari, H., Heravifar, K., Rayner, M., Wahlgren, M. and Sjöo, M. (2016). Preparation and Characterization of Starch Particles for Use in Pickering Emulsions. *Cereal Chemistry* 93 (2), 116–124. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-05-15-0107-R>
- Shi, W., Tang, C., Yin, S., Yin, Y., Yang, X., Wu, L., Zhao, Z. (2016). Development and characterization of novel chitosan emulsion films via Pickering emulsions incorporation approach. *Food Hydrocolloids*, 52 (1), 253–264. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.07.008>
- Shi, Y., Ye, F., Zhu, Y., & Miao, M. (2022). Development of dendrimer-like glucan-stabilized Pickering emulsions incorporated with  $\beta$ -carotene. *Food Chemistry*, 385, 132626. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132626>
- Tan, P. Y., Tan, T. B., Chang, H. W., Tey, B. T., Chan, E. S., Lai, O. M., Baharin, B. S., Nehdi, I. A. & Tan, C. P. (2018). Effects of storage and yogurt matrix on the stability of tocotrienols encapsulated in chitosan-alginate microcapsules. *Food Chemistry*, 241, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.075>
- Tang, Y., Yang, S., Zhang, N., & Zhang, J. (2014). Preparation and characterization of nanocrystalline cellulose via low-intensity ultrasonic-assisted sulfuric acid hydrolysis. *Cellulose*, 21, 335–346. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0158-2>
- Tavernier, I., Wijaya, W., Van der Meeren, P., Dewettinck, K., & Patel, A. R. (2016). Food-grade particles for emulsion stabilization. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 159–174. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.023>
- Thompson, K. L., Derry, M. J., Hatton, F. L., & Armes, S. P. (2018). Long-term stability of n-alkane-in-water pickering nanoemulsions: Effect of aqueous solubility of droplet phase on Ostwald ripening. *Langmuir*, 34 (31), 9289–9297. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b01835>



Timgren, A., Rayner, M., Sjö, M., & Dejmek, P. (2011). Starch particles for food-based Pickering emulsions. *Procedia Food Science*, 1, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.016>

Wang, L. J., Hu, Y. Q., Yin, S. W., Yang, X. Q., Lai, F. R., & Wang, S. Q. (2015). Fabrication and characterization of antioxidant Pickering emulsions stabilized by zein/chitosan complex particles (ZCPs). *Journal of agricultural and food chemistry*, 63 (9), 2514–2524. <https://doi.org/10.1021/jf505227a>

Whitby, C. P., Khairul, A. H., & Hughes, J. (2016). Destabilising Pickering emulsions by drop flocculation and adhesion. *Journal of colloid and interface science*, 465 (1), 158–164. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.11.063>

Winuprasith, T., Khomein, P., Mitbumrung, W., Suphantharika, M., Nitithamyong, A., & McClements, D. J. (2018). Encapsulation of vitamin D3 in pickering emulsions stabilized by nanofibrillated mangosteen cellulose: Impact on in vitro digestion and bioaccessibility. *Food Hydrocolloids*, 83, 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.047>

Wu, J., & Ma, G.-H. (2016). Recent Studies of Pickering Emulsions: Particles Make the Difference. *Small*, 12 (34), 4633–4648. <https://doi.org/10.1002/sml.201600877>

Wu, T., Wang, H., Jing, B., Liu, F., Burns, P. C., & Na, C. (2015). Multi-body coalescence in Pickering emulsions. *Nature Communications*, 6 (1), 5929. <https://doi.org/10.1038/ncomms6929>

Xiao, J., Li, C., & Huang, Q. (2015). Kafirin Nanoparticle-Stabilized Pickering Emulsions as Oral Delivery Vehicles: Physicochemical Stability and in Vitro Digestion Profile. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63 (47), 10263–10270. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04385>

Yang, Y., Fang, Z., Chen, X., Zhang, W., Xie, Y., Chen, Y., Liu, Z., & Yuan, W. (2017). An Overview of Pickering Emulsions: Solid-Particle Materials, Classification, Morphology, and Applications. *Frontiers in Pharmacology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00287>

Zhao, Y., Dan, N., Pan, Y., Nitin, N., & Tikekar, R. V. (2013). Enhancing the barrier properties of colloidosomes using silica nanoparticle aggregates. *Journal of Food Engineering*, 118 (4), 421–425. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.030>

Zhao, Y., Pan, Y., Nitin, N., & Tikekar, R. V. (2014). Enhanced stability of curcumin in colloidosomes stabilized by silica aggregates. *LWT - Food Science and Technology*, 58 (2), 667–671. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.017>

Zheng, W., Ren, L., Hao, W., Wang, L., Liu, C., & Zheng, L. (2022). Encapsulation of indole-3-carbinol in Pickering emulsions stabilized by OSA-modified high amylose corn starch: Preparation, characterization and storage stability properties. *Food Chemistry*, 386, 132846. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132846>

Zhou, S., Han, L., Lu, K., Qi, B., Du, X., Liu, G., Tang, Y., Zhang, S., & Li, Y. (2022). Whey protein isolate-phytosterols nanoparticles: Preparation, characterization, and stabilized food-grade pickering emulsions. *Food Chemistry*, 384, 132486. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132486>