



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição

Microencapsulação: técnicas, aplicações e desafios

Gabriela Feltre

Piracicaba, 26 de setembro de 2023



Roteiro da Apresentação

- ✓ Microencapsulação:
 - *O que é?*
 - *Por que encapsular?*

- ✓ Técnicas;
- ✓ Aplicações;
- ✓ Aplicações comerciais;
- ✓ Desafios.

Microencapsulação



Microencapsulação

O que é?

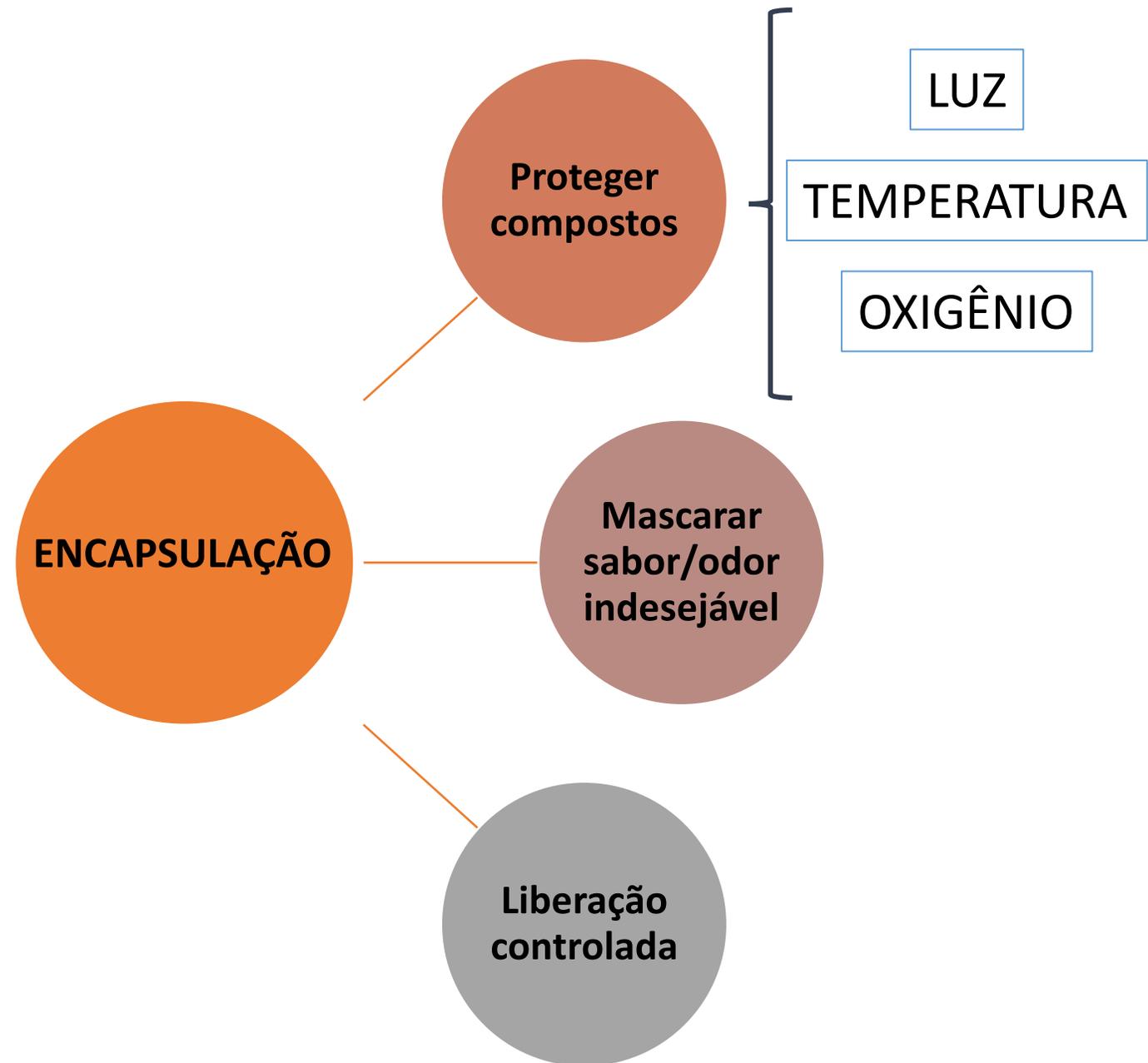
*Técnica de envolver materiais sólidos,
líquidos ou gasosos em partículas*

Microencapsulação

Por que encapsular?

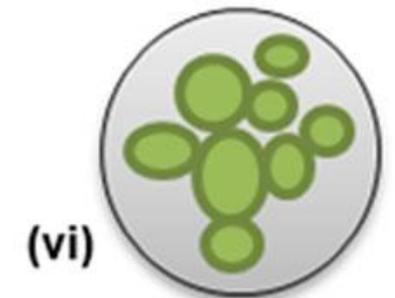
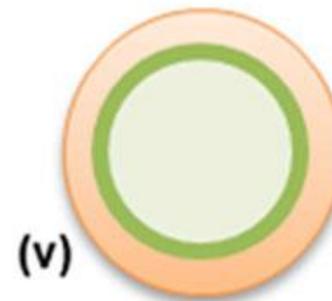
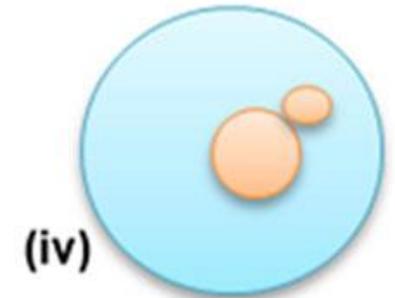
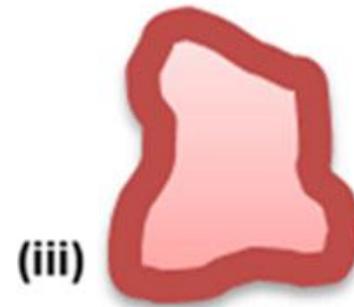
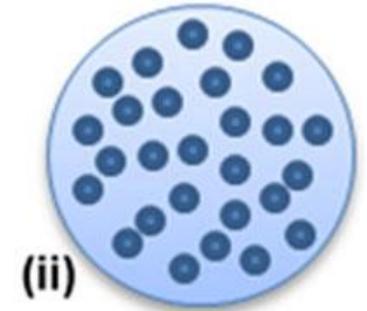
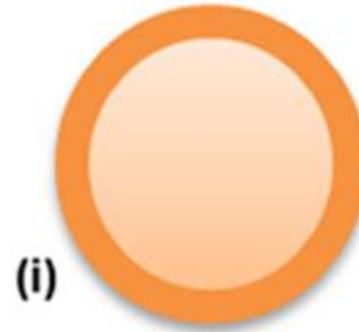
Compostos:

- Oxidação;
- Degradação;
- Liberação indesejada;
- Sabor ruim.



Tipos de cápsulas

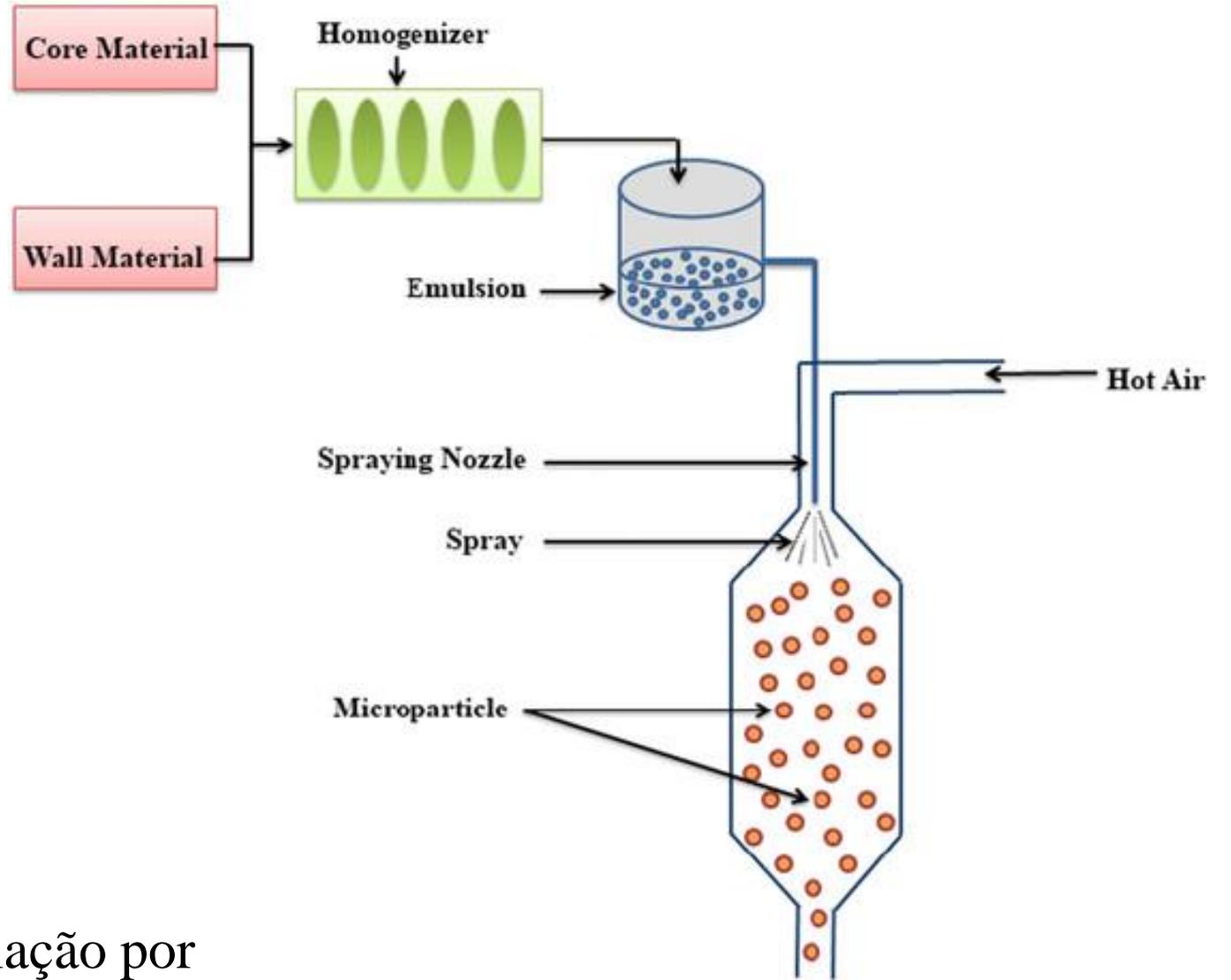
Tipos de microcápsulas. (i) microcápsula simples; (ii) matriz (microesfera); (iii) microcápsula irregular; (iv) microcápsula multinucleada; (v) microcápsula com multicamadas; (vi) conjunto de microcápsulas. Adaptado de (BAKRY et al., 2016).





Técnicas

Spray drying



Esquema de microencapsulação por *spray drying*. Fonte: Bakry et al., 2016.

Spray drying

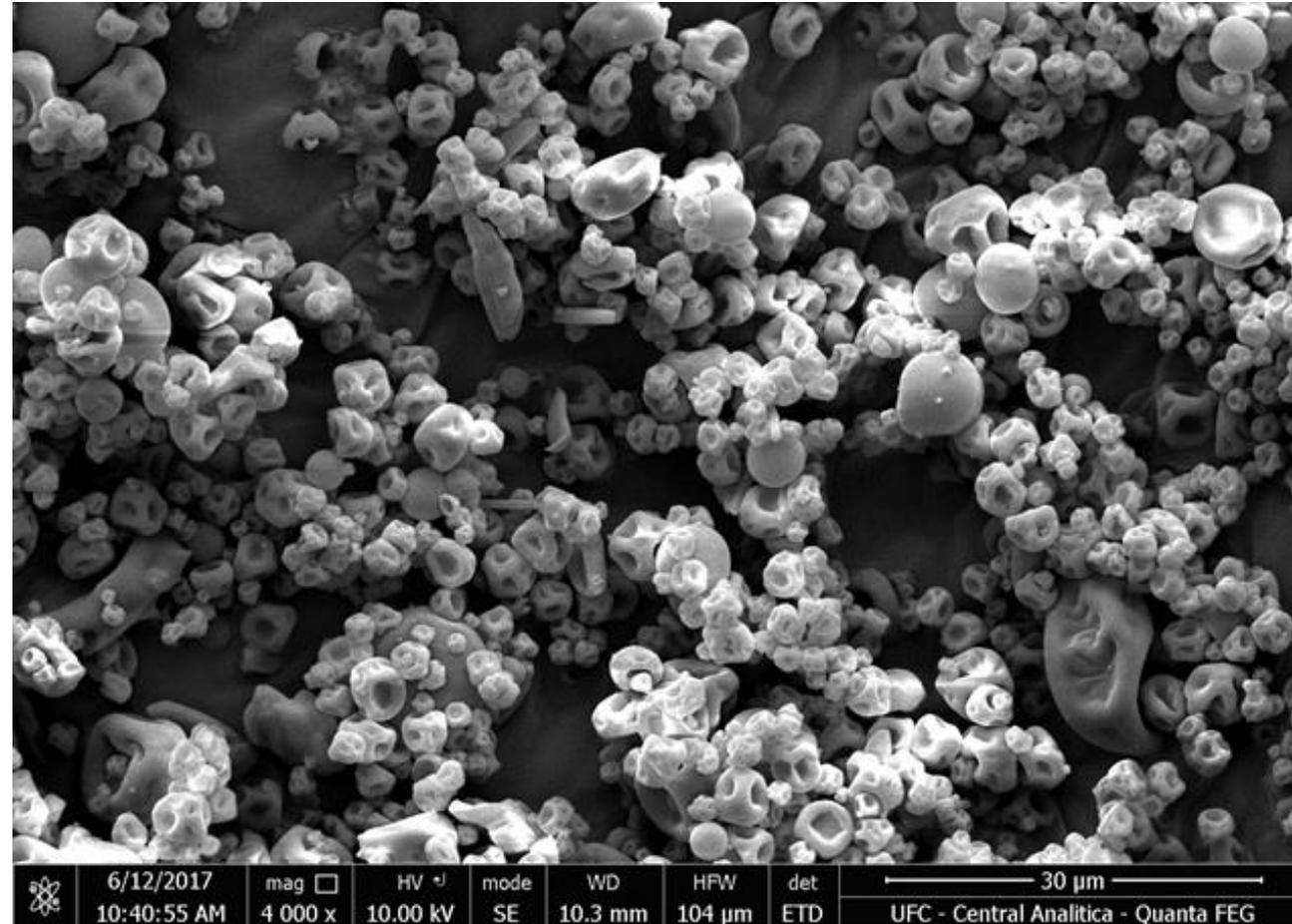
Vantagens:

- Fácil aplicação;
- Baixo custo;
- Aplicação em larga escala.

Desvantagens:

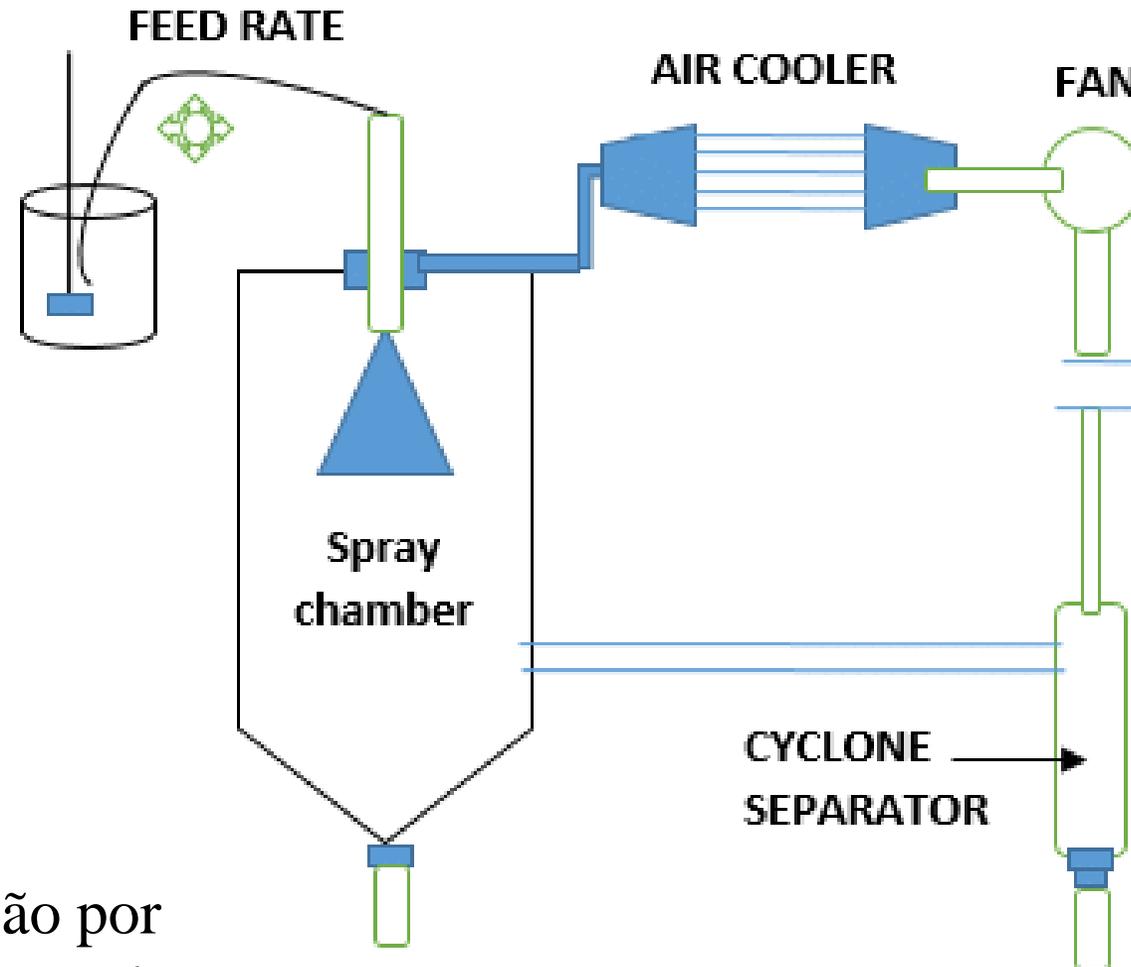
- Altas temperaturas, podendo causar degradação de compostos.

Spray drying



Microscopia eletrônica de varredura (MEV) das microcápsulas de bixina com galactomanana. Magnitude: 4000x. Fonte: Pascoal et al., 2021.

Spray chilling



Esquema de microencapsulação por *spray chilling*. Fonte: Saikiran et al., 2018.

Spray chilling

Vantagens:

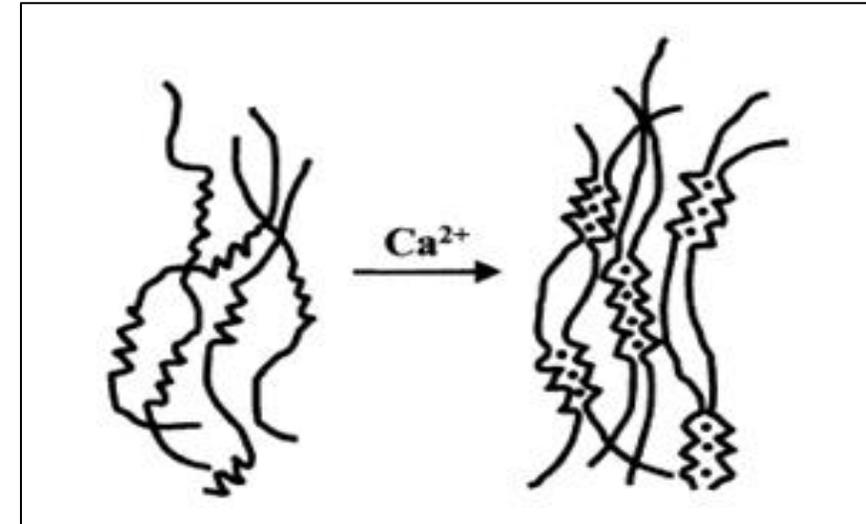
- Sem uso de solventes orgânicos;
- Baixo custo;
- Tempo rápido de processo
- Aplicação em larga escala.

Desvantagens:

- Baixa retenção na estrutura;
- Oxidação de lipídios;
- Dificuldade na aplicação

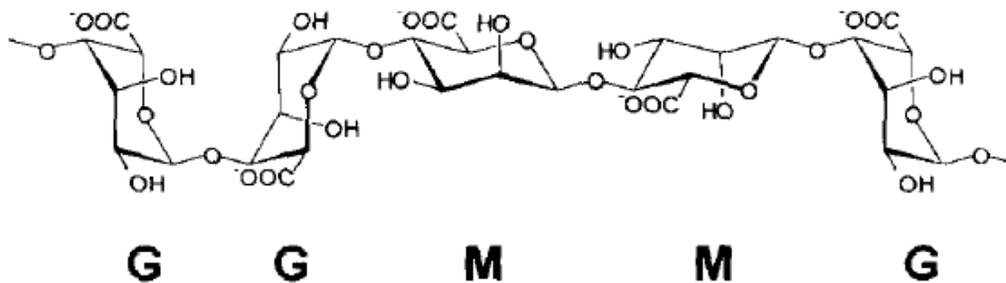
Gelificação iônica

- ✓ Difusão dos cátions para a cadeia do polissacarídeo;
- ✓ Modelo “caixa de ovos”.



Estrutura de “caixa de ovo” de um gel de alginato formado com íons Ca^{2+} (ONSOYEN, 1997).

Alginato de sódio



Componentes do alginato: G-G, M-M e blocos M-G
(GOH; HENG; CHAN, 2012).

- ✓ Biocompatibilidade;

- ✓ não-toxicidade;

- ✓ Produção de partículas com alta carga de óleo

Gelificação iônica

Vantagens:

- Sem uso de solventes orgânicos;
- Baixo custo;
- Fácil aplicação (partículas insolúveis em água).

Desvantagens:

- Difícil replicar em larga escala.

Gelificação iônica

A - Partículas Úmidas



B - Partículas secas

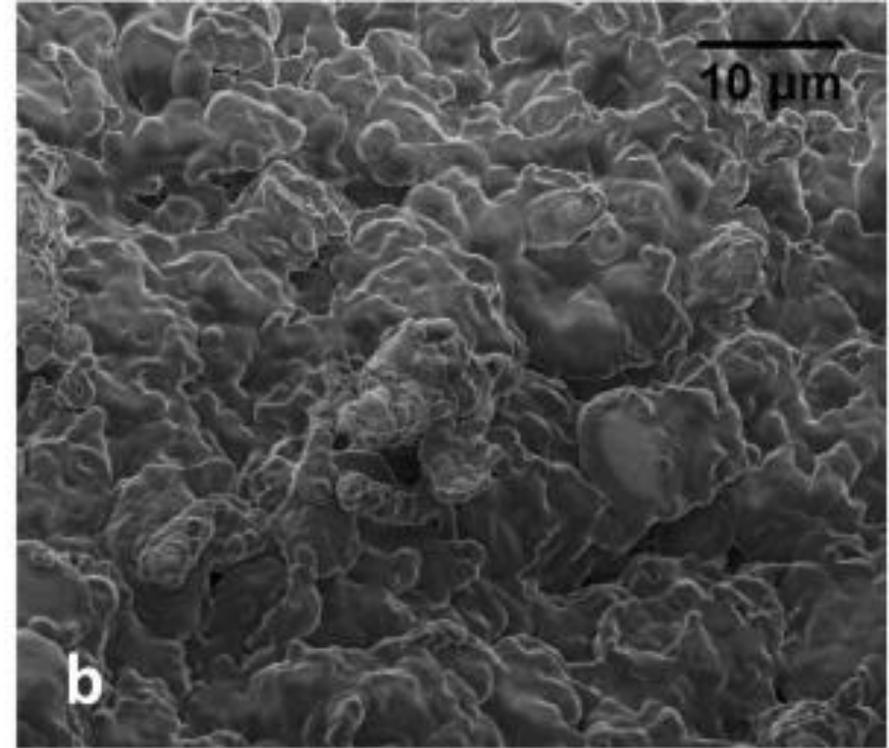
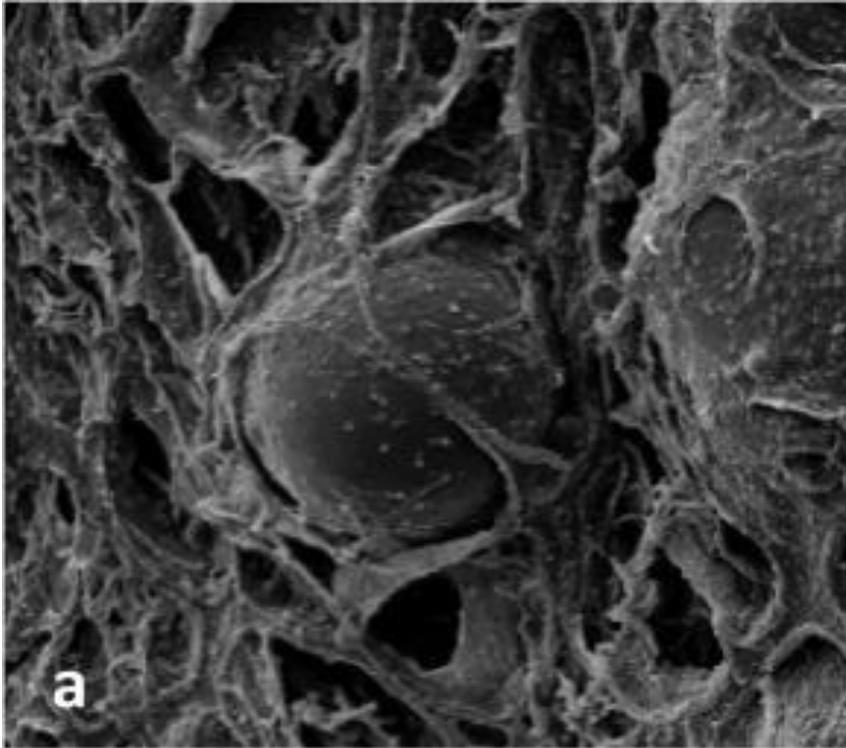


C - Partículas reidratadas



Partículas produzidas a partir de gelificação iônica utilizando alginato de sódio. Fonte: Zanardo et al., 2019.

Gelificação iônica



Microscopia eletrônica de varredura (MEV) de partículas de óleo encapsulado a partir de gelificação iônica. a) microgel; b) macrogel. Magnitude: 5000x. Fonte: Silva et al., 2021.



Aplicações

Compostos funcionais

São compostos que trazem benefícios à saúde e podem ajudar a manter processos biológicos humanos.

Ajudam na preservação de diferentes tipos de doenças

Espirulina

Spray drying

Da Silva et al., 2019:

- ✓ Espirulina: ácidos graxos e orgânicos, tocoferóis, ficocianinas;
- ✓ Uso de maltodextrina e maltodextrina + ácido cítrico como materiais de parede;
- ✓ Incorporação das partículas em iogurte;
- ✓ Encapsulação permitiu maior estabilidade térmica e atividade anti-inflamatória sem citotoxicidade;



Espirulina

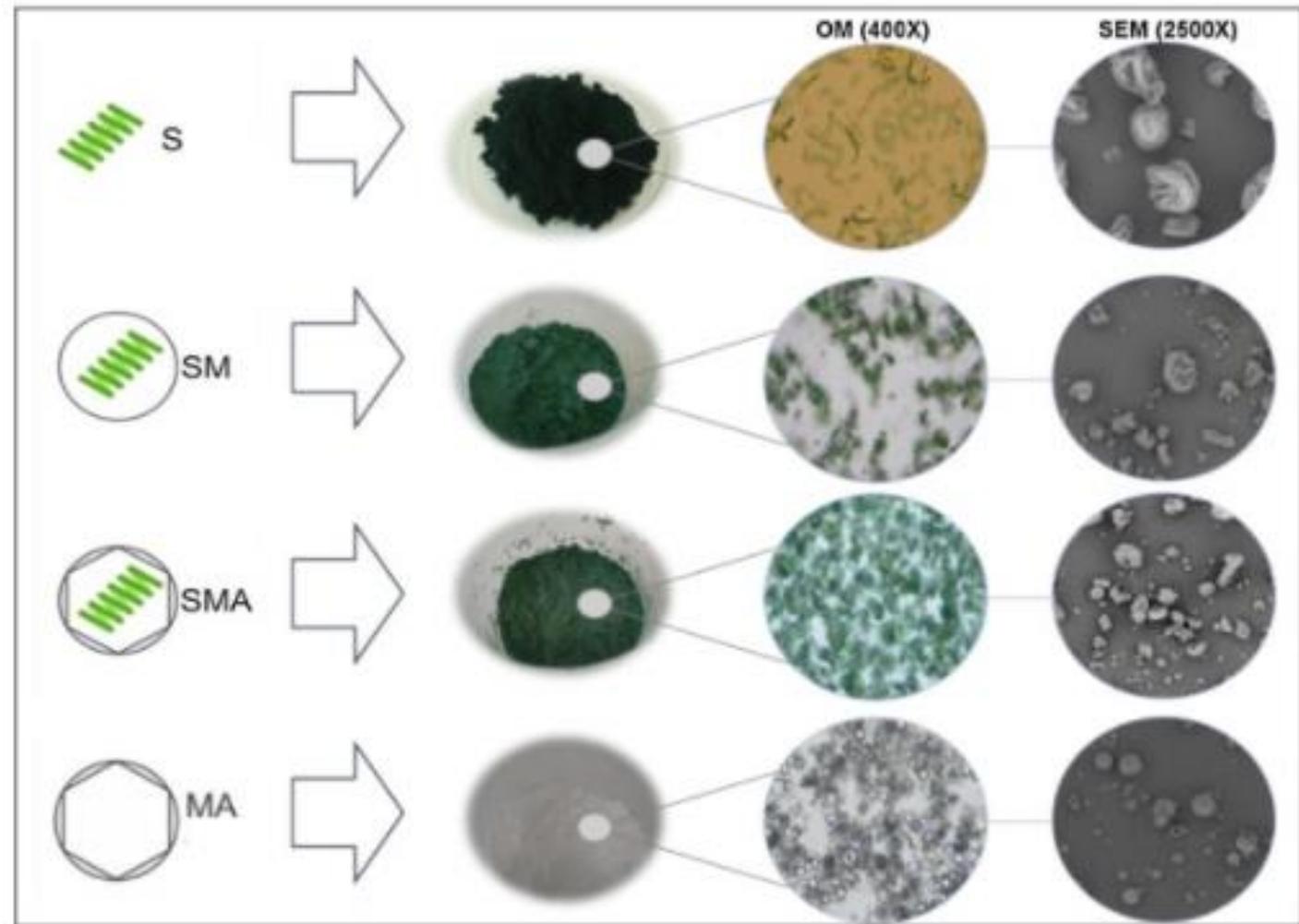
Spray drying

Da Silva et al., 2019:

- ✓ Iogurte com espirulina encapsulada apresentou maior atividade antioxidante;
- ✓ Adição da espirulina encapsulada não afetou a qualidade do iogurte;
- ✓ Não houve percepção de sabor ruim no iogurte com espirulina encapsulada.

Espirulina

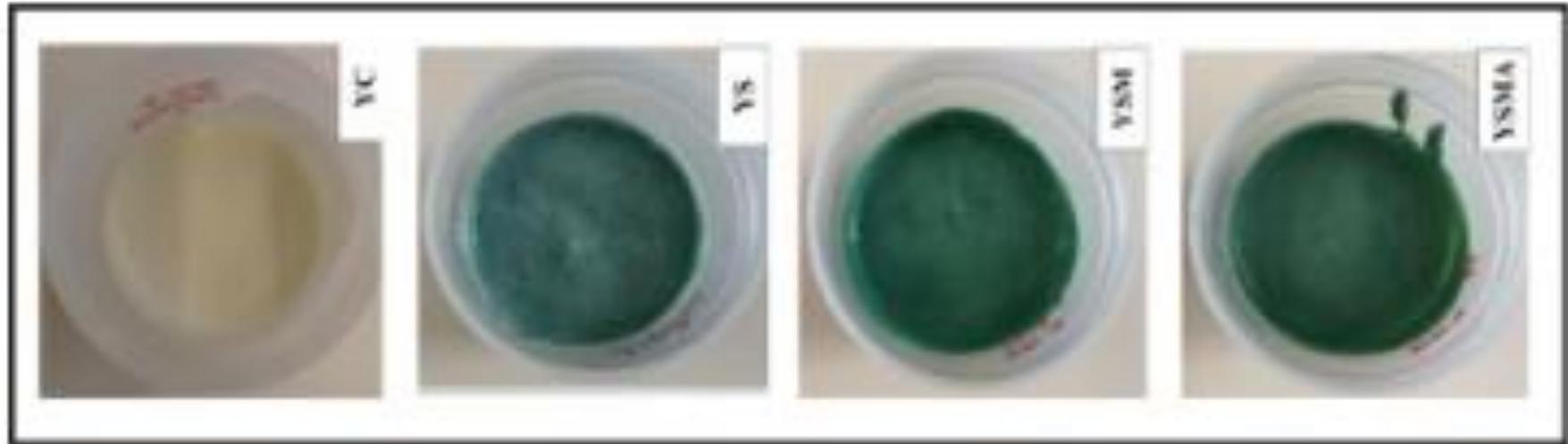
Spray drying



Fonte: Da Silva et al., 2019.

Espirulina

Spray drying



Aparência visual dos iogurtes.

Fonte: Da Silva et al., 2019.

Óleo de peixe

Spray drying

Solomando et al., 2020:

- ✓ Óleo de peixe: veículo dos ácidos eicosapentaenóico e docosahexaenóico (ômega 3) ;
- ✓ Uso de maltodextrina, lecitina de soja e quitosana como materiais de parede;
- ✓ Incorporação das partículas em produtos cárneos;
- ✓ Encapsulação aumentou a quantidade de ômega 3 nos embutidos cozidos e curados sem afetar a qualidade dos produtos.

Extrato de pólen de papoula

Spray drying

Sarabandi et al., 2023:

- ✓ Extrato de pólen de papoula: fonte de pigmento e fitoquímico natural;
- ✓ Material de parede: maltodextrina;
- ✓ Atividade antioxidante, fotoestabilidade e estabilidade térmica aumentaram durante o armazenamento;
- ✓ Aplicado em balas de goma: melhoramento da cor e percepção sensorial.

Extrato de folha de oliva

Spray drying

Ciont et al., 2023:

- ✓ Material de parede: maltodextrina e goma arábica;
- ✓ Na digestibilidade: maior proteção com microencapsulação do que com nanoencapsulação;
- ✓ Adição em biscoitos: melhoramento das propriedades funcionais, porém formulação com maior teor de óleo teve seus parâmetros sensoriais e de textura alterados.

Vitamina C

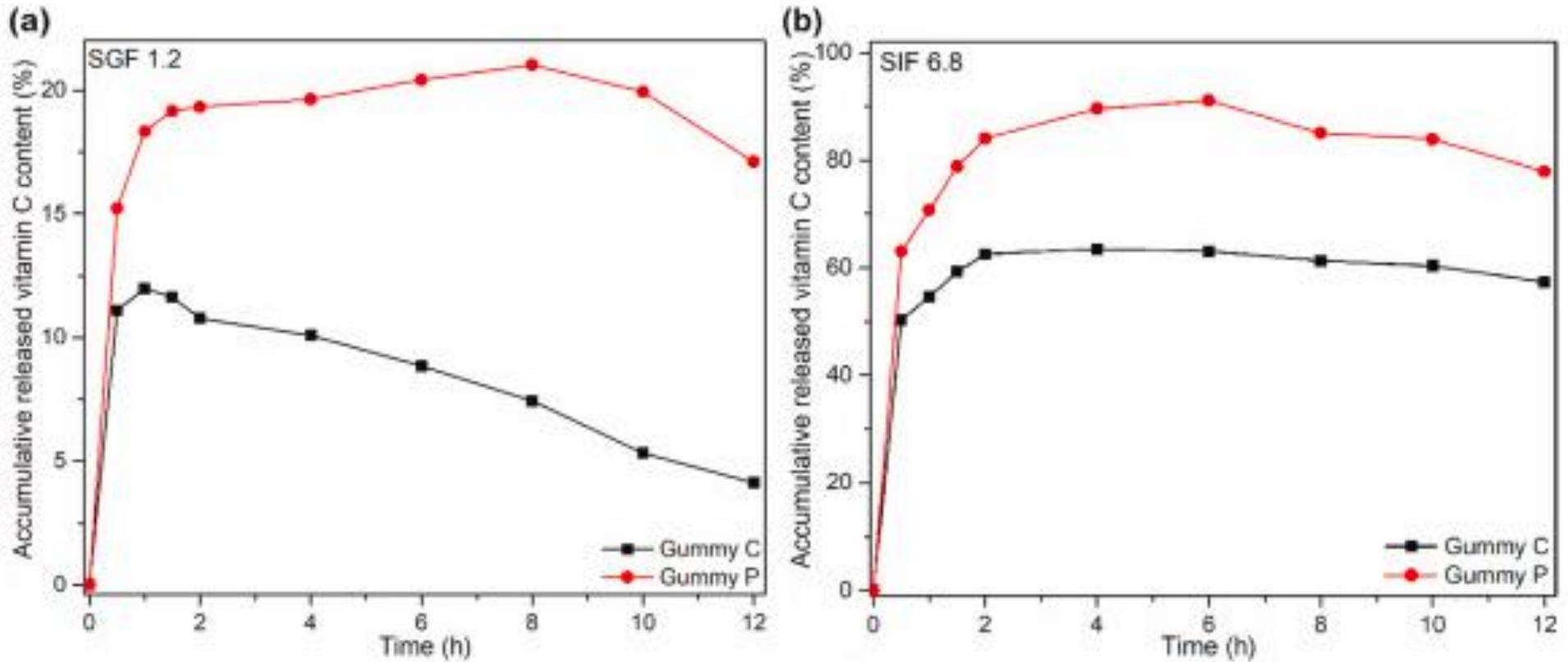
Spray drying

Yan et al., 2021:

- ✓ Uso de gel de caseína como material de parede;
- ✓ Incorporação das partículas em balas de goma;
- ✓ Retenção da vitamina C após 10 semanas:
Microencapsulada: 92%
Livre: 72%;

Vitamina C

Spray drying



a) Após ambiente gástrico; b) após ambiente entérico. Fonte: Yan et al., 2021.

Vitamina C

Spray chilling

Sartori e Menegalli, 2016:

- ✓ Uso de ácidos láurico e oleico como materiais de parede;
- ✓ Incorporação das partículas em filmes de amido de banana verde;
- ✓ Filmes com menor permeabilidade ao vapor de água, porém maior rigidez e mais opacos;
- ✓ % de antioxidante nos filmes:
Vit C livre: 49%
Vit C encapsulada: 84%

Aroma cloreto de zinco de 2-acetil-1-pirrolina

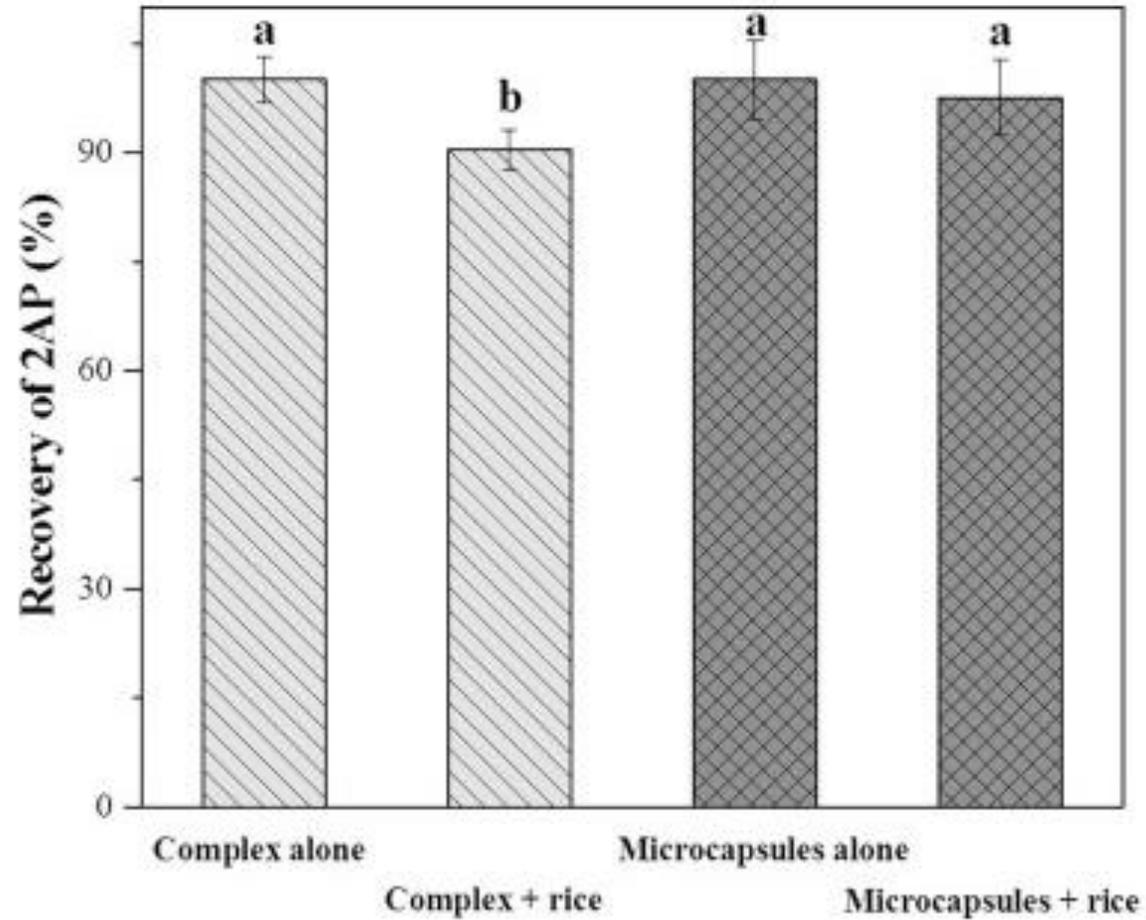
Spray chilling

Yin e Cadwallader, 2019:

- ✓ Uso de parafina octacosano como material de parede;
- ✓ Incorporação das partículas em arroz instantâneo;
- ✓ Estabilidade maior que o composto livre;
- ✓ Recuperação total do aroma após o cozimento do arroz: liberação controlada.

Aroma cloreto de zinco de 2-acetil-1-pirrolina

Spray chilling



Fonte: Yin e Cadwallader, 2019.

Polifenóis

Spray chilling e gelificação iônica

Cutrim et al., 2019:

✓ *Polifenóis de extrato de chá verde;*

✓ Materiais de parede:

Spray chilling: óleo de palma hidrogenado;

Gelificação iônica: pectina de baixo grau de metilação.

Eficiência de encapsulação:

Spray chilling: 83,5%

Gelificação iônica: 72,6%

Óleo de gérmen de trigo – rico em tocoferóis

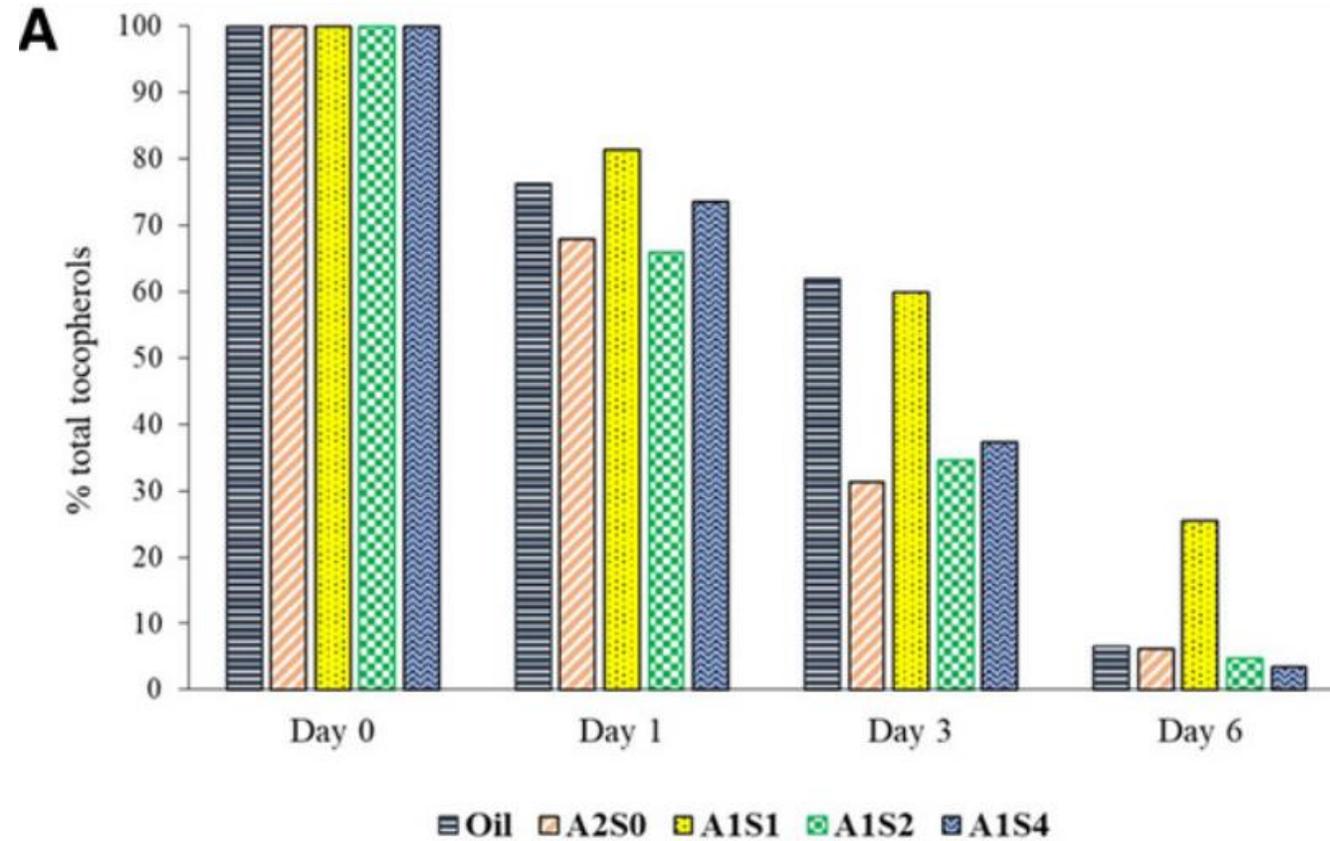
Gelificação iônica

Feltre et al., 2020:

- ✓ Uso de alginato e amido de milho como materiais de parede;
- ✓ Menor oxidação do óleo ao longo da estocagem;
- ✓ Maior retenção de tocoferóis.

Óleo de gérmen de trigo – rico em tocoferóis

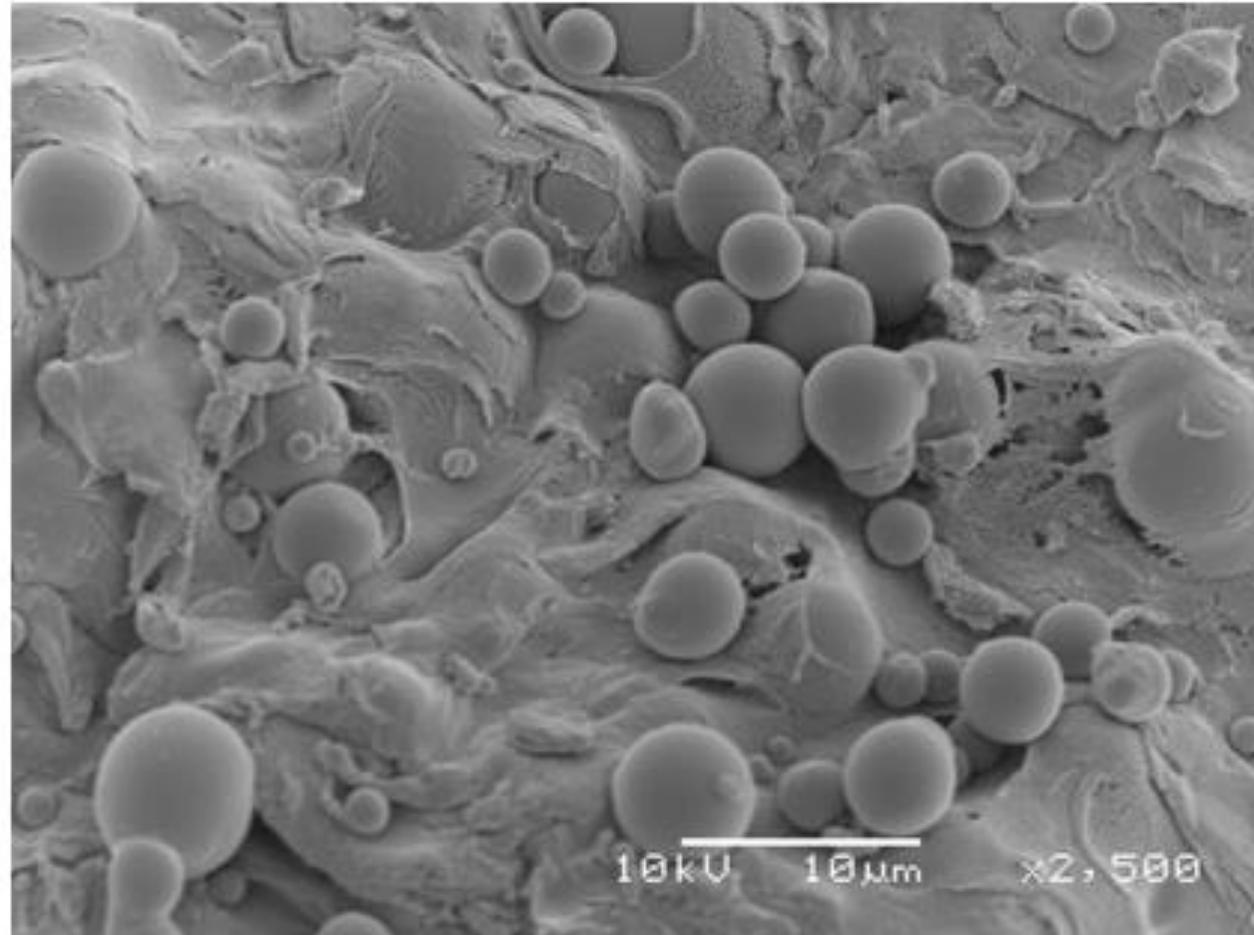
Gelificação iônica



Fonte: Feltre et al., 2020.

Óleo de gérmen de trigo – rico em tocoferóis

Gelificação iônica



Fonte: Feltre et al., 2020.



Probióticos

Perda na viabilidade de probióticos no transporte e estocagem devido à exposição a oxigênio, luz e mudanças de pH e temperatura;

Probióticos comerciais tem perda de 10^6 CFU/g após 5 min em ambiente gastrointestinal;

Métodos mais utilizados para encapsular probióticos: gelificação iônica, *spray drying* e *spray chilling*.

Probióticos

Gelificação iônica

Naissinger da Silva et al., 2021:

- ✓ *Lactobacillus acidophilus e Bifidobacterium bifidum;*
- ✓ Incorporação das partículas em manteiga;
- ✓ *L. Acidophilus* (10%): viabilidade celular de 8 log CFU/g após 45 dias;
- ✓ *B. Bifidum* (10%) 2 log CFU/g após 22 dias;
- ✓ Incorporação das partículas não alterou as propriedades físicas, químicas e sensoriais da manteiga.

Probióticos

Gelificação iônica

Lopes et al., 2021:

- ✓ *Lactobacillus acidophilus* La-05;
- ✓ Uso de alginato e quitosana como materiais de parede;
- ✓ Incorporação das partículas em ricota de cabra;
- ✓ Maior viabilidade da ricota com microrganismos microencapsulados do que com probióticos livres em condições gastrointestinais.

Probióticos

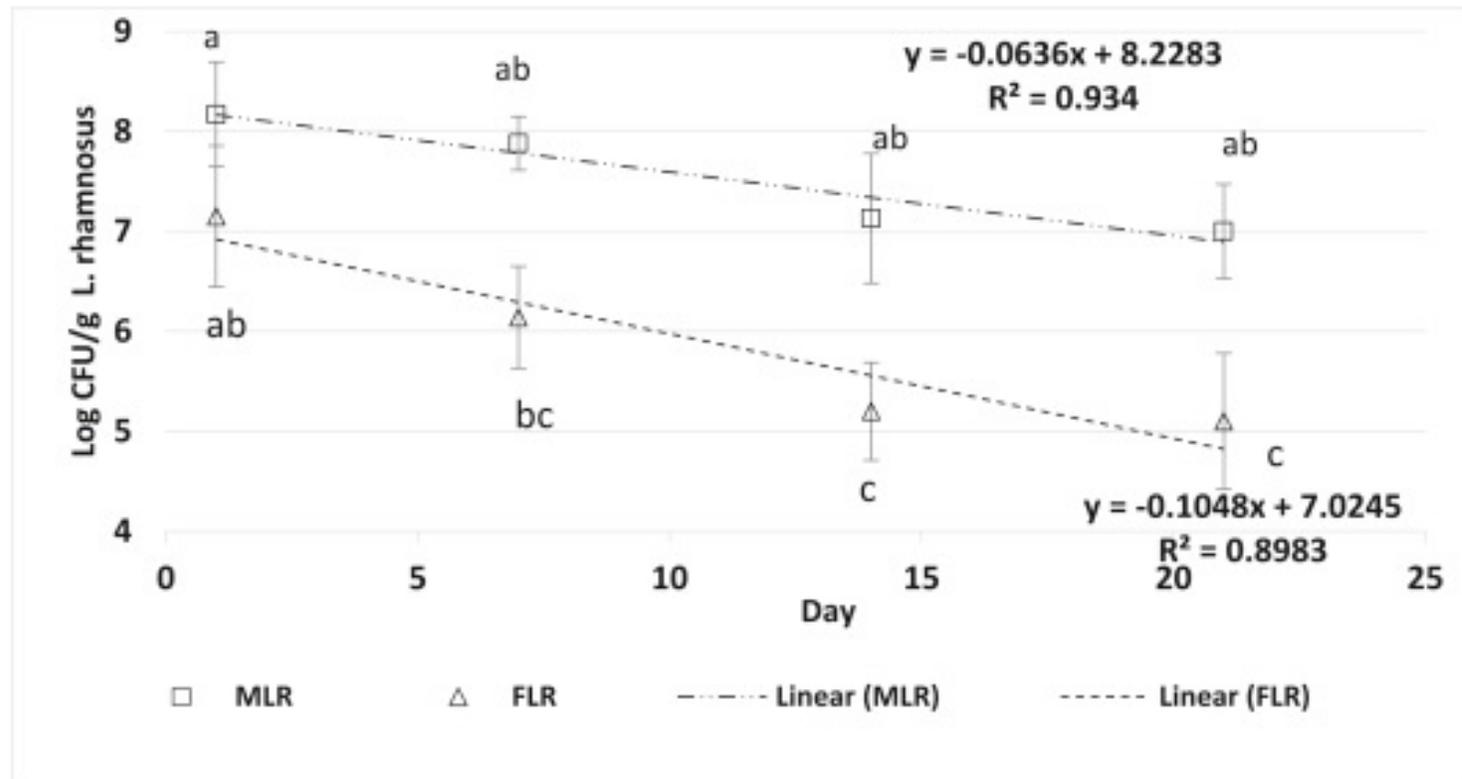
Gelificação iônica

Dohooaki et al., 2019:

- ✓ *Lactobacillus rhamnosus*;
- ✓ Uso de alginato e mucilagem de semente de marmelo;
- ✓ Incorporação das partículas em sobremesa láctea;

Probióticos

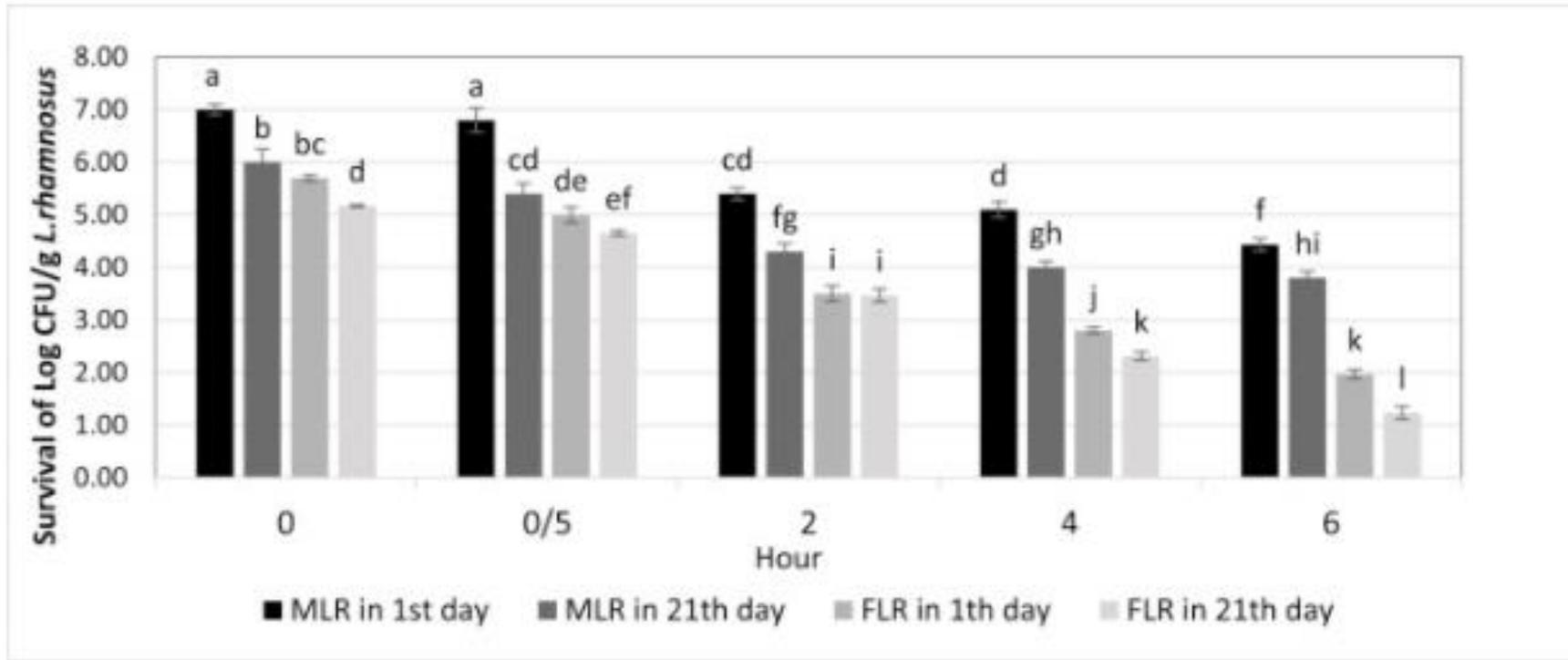
Gelificação iônica



Sobrevivência do microrganismo na sobremesa láctea após 20 dias de estocagem do produto.
 Fonte: Dohooaki et al., 2019.

Probióticos

Gelificação iônica



Sobrevivência do microrganismo na sobremesa láctea em ambiente gastrointestinal.
 Fonte: Dohooaki et al., 2019.

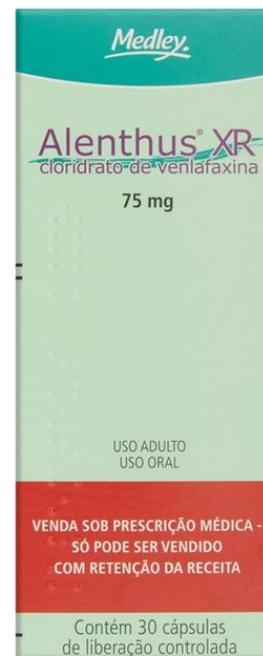


Aplicações comerciais

Aplicações comerciais



Aplicações comerciais



Aplicações comerciais





Desafios

Probióticos



Conclusões

- ✓ Microencapsulação de alimentos é promissora;
- ✓ A encapsulação é capaz de aumentar a estabilidade dos compostos e permitir a liberação controlada e desejada;
- ✓ Aplicação dos compostos encapsulados em alimentos aumenta a funcionalidade dos produtos.

Referências Bibliográficas

BAKRY, Amr M.; ABBAS, Shabbar; ALI, Barkat; MAJEED, Hamid; ABOUELWAFI, Mohamed Y.; MOUSA, Ahmed; LIANG, Li. Microencapsulation of Oils: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications. **Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 143-182, 13 nov. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12179>.

CIONT, Călina; DIFONZO, Graziana; PASQUALONE, Antonella; CHIS, Maria Simona; RANGA, Florica; SZABO, Katalin; SIMON, Elemer; NAGHIU, Anca; BARBU-TUDORAN, Lucian; CAPONIO, Francesco. Phenolic profile of micro- and nano-encapsulated olive leaf extract in biscuits during in vitro gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 428, p. 136778, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136778>.

CUTRIM, Camila Sampaio; ALVIM, Izabela Dutra; CORTEZ, Marco Antonio Sloboda. Microencapsulation of green tea polyphenols by ionic gelation and spray chilling methods. **Journal Of Food Science And Technology**, [S.L.], v. 56, n. 8, p. 3561-3570, 5 jul. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-019-03908-1>.

DOKOOHAKI, Zahra Noori; SEKHAVATIZADEH, Seyed Saeed; HOSSEINZADEH, Saeid. Dairy dessert containing microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* (ATCC 53103) with quince seed mucilage as a coating material. **Lwt**, [S.L.], v. 115, p. 108429, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108429>.

FELTRE, Gabriela; SARTORI, Tanara; SILVA, Klycia F. C.; DACANAL, Gustavo C.; MENEGALLI, Florencia C.; HUBINGER, Miriam D.. Encapsulation of wheat germ oil in alginate-gelatinized corn starch beads: physicochemical properties and tocopherols stability. **Journal Of Food Science**, [S.L.], v. 85, n. 7, p. 2124-2133, 24 jun. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.15316>.

GOH, Cheong Hian; HENG, Paul Wan Sia; CHAN, Lai Wah. Alginates as a useful natural polymer for microencapsulation and therapeutic applications. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 88, n. 1, p. 1-12, mar. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.11.012>.

Referências Bibliográficas

LOPES, Laênia Angélica Andrade; PIMENTEL, Tatiana Colombo; CARVALHO, Rafaela de Siqueira Ferraz; MADRUGA, Marta Suely; GALVÃO, Mércia de Sousa; BEZERRA, Taliana Kenia Alencar; BARÃO, Carlos Eduardo; MAGNANI, Marciane; STAMFORD, Thayza Christina Montenegro. Spreadable goat Ricotta cheese added with Lactobacillus acidophilus La-05: can microencapsulation improve the probiotic survival and the quality parameters?. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 346, p. 128769, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128769>.

ONSOYEN, E. Alginates. In: IMESON, A. (Ed.). . Thickening and gelling agents for food. London: Aspen Publishers, 1997.

PASCOAL, Karla L.L.; SIQUEIRA, Sônia M.C.; AMORIM, Antônia F.V. de; RICARDO, Nágila M.P. Silva; MENEZES, Jane E.s.A. de; SILVA, Luana C. da; ARAĐJO, Tamara G. de; ALMEIDA-NETO, Francisco W.Q.; MARINHO, Emmanuel S.; MORAIS, Selene M. de. Physical-chemical characterization, controlled release, and toxicological potential of galactomannan-bixin microparticles. *Journal Of Molecular Structure*, [S.L.], v. 1239, p. 130499, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130499>.

SAIKIRAN, K.Ch.s.; PERLI, Monisha; REDDY, N. Sreedhar; VENKATACHALAPATHY, N.. Mechanical Methods of Microencapsulation: a review. *International Journal Of Current Microbiology And Applied Sciences*, [S.L.], v. 7, n. 11, p. 1251-1260, 10 nov. 2018. Excellent Publishers. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2018.711.146>.

SARABANDI, Khashayar; AKBARBAGLU, Zahra; PEIGHAMBARDoust, Seyed Hadi; AYASEH, Ali; JAFARI, Seid Mahdi. Biological stabilization of natural pigment-phytochemical from poppy-pollen (*Papaver bracteatum*) extract: functional food formulation. *Food Chemistry*, [S.L.], v. 429, p. 136885, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136885>.

SARTORI, Tanara; MENEGALLI, Florencia Cecilia. Development and characterization of unripe banana starch films incorporated with solid lipid microparticles containing ascorbic acid. *Food Hydrocolloids*, [S.L.], v. 55, p. 210-219, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.018>.

Referências Bibliográficas

SILVA, Karen Cristina Guedes; BOURBON, Ana Isabel; PASTRANA, Lorenzo; SATO, Ana Carla Kawazoe. Biopolymer interactions on emulsion-filled hydrogels: chemical, mechanical properties and microstructure. *Food Research International*, [S.L.], v. 141, p. 110059, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110059>.

SILVA, Maritiele Naissinger da; TAGLIAPIETRA, Bruna Lago; RICHARDS, Neila Silvia Pereira dos Santos. Encapsulation, storage viability, and consumer acceptance of probiotic butter. *Lwt*, [S.L.], v. 139, p. 110536, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110536>.

SILVA, Samara C. da; FERNANDES, Isabel P.; BARROS, Lillian; FERNANDES, Ângela; ALVES, Maria José; CALHELHA, Ricardo C.; PEREIRA, Carla; BARREIRA, João C.M.; MANRIQUE, Yaidelin; COLLA, E.. Spray-dried *Spirulina platensis* as an effective ingredient to improve yogurt formulations: testing different encapsulating solutions. *Journal Of Functional Foods*, [S.L.], v. 60, p. 103427, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2019.103427>.

SOLOMANDO, Juan Carlos; ANTEQUERA, Teresa; PEREZ-PALACIOS, Trinidad. Evaluating the use of fish oil microcapsules as omega-3 vehicle in cooked and dry-cured sausages as affected by their processing, storage and cooking. *Meat Science*, [S.L.], v. 162, p. 108031, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108031>.

YAN, Bing; DAVACHI, Seyed Mohammad; RAVANFAR, Raheleh; DADMOHAMMADI, Younas; DEISENROTH, Ted W.; VAN PHO, Toan; ODORISIO, Paul A.; DARJI, Rupa Hiremath; ABBASPOURRAD, Alireza. Improvement of vitamin C stability in vitamin gummies by encapsulation in casein gel. *Food Hydrocolloids*, [S.L.], v. 113, p. 106414, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106414>.

YIN, Yun; CADWALLADER, Keith R.. Spray-chilling encapsulation of 2-acetyl-1-pyrroline zinc chloride complex using hydrophobic materials: feasibility and characterization of microcapsules. *Food Chemistry*, [S.L.], v. 265, p. 173-181, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.079>.



Muito obrigada!

gabriela.feltre@usp.br