

Microencapsulação de culturas probióticas: princípios do método de spray drying

Microencapsulation of probiotic cultures: principles of spray drying method

Graciele Lorenzoni Nunes^{1*}, Thaiane Marques da Silva², Augusto Tasch Holkem², Vitor Schley³ e Cristiano Ragagnin de Menezes⁴

¹Doutoranda em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

²Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

³Graduando em Ciência em Tecnologia de Alimentos, Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

⁴Professor Doutor em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

Resumo

Microrganismos probióticos são conhecidos por proporcionar uma série de benefícios à saúde do consumidor, principalmente através da manutenção do equilíbrio e da composição do trato gastrointestinal. No entanto, para que os efeitos benéficos à saúde sejam alcançados, os probióticos devem permanecer viáveis e em quantidade suficiente no alimento até o momento do consumo, além de serem capazes de sobreviver à passagem pelo trato gastrointestinal. Devido a estes fatores, métodos de microencapsulação têm sido aplicados com a finalidade de proteger os probióticos contra condições adversas a que são expostos, melhorando sua sobrevivência. A técnica de spray drying é uma das mais utilizadas para a encapsulação de ingredientes alimentícios, por apresentar vantagens, como custo relativamente baixo, facilidade de operação, altas taxas de produção e possibilidade de aplicação em escala industrial. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é fornecer uma revisão sobre a os benefícios das culturas probióticas e a importância da microencapsulação para melhorar a viabilidade destes microrganismos destacando os princípios do método de spray drying.

Palavras-chave: Probióticos. Microencapsulação. Spray drying.

Abstract

Probiotic microorganisms are known to provide a number of benefits to consumer health, primarily through the maintenance of balance and composition of the gastrointestinal tract. However, for the health benefits to be achieved, should remain viable probiotics in sufficient quantity in the food until the time of consumption, in addition to being able to survive passage through the gastrointestinal tract. Due to these factors microencapsulation methods have been applied in order to protect probiotics against adverse conditions they are exposed, improving their survival. The technique of spray drying is one commonly used for encapsulation of food ingredients, it offers some advantages, such as relatively low cost, ease of operation, high production rates and possibility of application in industrial scale. In this context, the aim of this work is to provide an overview of the importance and benefits of microencapsulation of probiotic cultures emphasizing the principles of method of spray drying.

Keywords: Probiotic. Microencapsulation. Spray drying.

1 Introdução

Probióticos são definidos como microrganismos vivos que quando ingeridos em quantidades apropriadas conferem benefícios à saúde do hospedeiro (FAO/WHO, 2006). Dessa forma, os alimentos que contêm esses microrganismos se enquadram na categoria de alimento funcional (SAAD et al., 2013). Probióticos são conhecidos por proporcionar uma série de efeitos benéficos à saúde, embora nem todos tenham sido suficientemente comprovados pela literatura (SHAH, 2007; COOK et al., 2012; SAAD et al., 2013). De acordo com Correia, Liboredo e Consoli (2012) os principais efeitos benéficos atribuídos aos probióticos estão relacionados com o aumento da mobilidade intestinal, o que evita o crescimento excessivo de bactérias (modulação da microbiota intestinal), com a melhoria das funções da barreira intestinal e com a modulação da resposta imune. Dentre os 24 benefícios relatados na literatura se destacam a proteção contra patógenos, redução dos níveis de colesterol e pressão arterial, atividade anticarcinogênica, melhoria na absorção de nutrientes, redução da intolerância a lactose, alívio da constipação, entre outros (RANADHEERA; BAINES; ADAMS, 2010). Contudo, é importante salientar que os efeitos benéficos atribuídos aos probióticos são específicos de cada cepa, ou seja, não existe uma cepa capaz de proporcionar simultaneamente todos os benefícios mencionados (WEICHSELBAUM, 2009; MAKINEN et al., 2012).

A seleção de microrganismos probióticos é baseada em critérios específicos, destacando-se que o que mesmo deve ser de origem humana uma vez que normalmente os produtos são destinados ao consumo humano e visto que estes microrganismos adaptam-se melhor em ambiente semelhante ao qual foram isolados, e, além disso, o microrganismo probiótico deve ser seguro para a saúde humana (reconhecido como GRAS - Generally Recognized as Safe); deve sobreviver à passagem pelo trato gastrointestinal, isto é, deve ser resistente a baixos valores de pH e também à ação de

enzimas hidrolíticas; e deve ser capaz de aderir à mucosa intestinal e de inibir a fixação de bactérias patogênicas (PLESSAS et al., 2012).

A maioria dos probióticos são bactérias pertencentes aos gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* (RIVERA-ESPINOZA; GALLARDO-NAVARRO, 2010; SAAD et al., 2013). Os microrganismos pertencentes ao gênero *Bifidobacterium* são bastonetes gram-positivos não formadores de esporos, não filamentosos, sem motilidade e anaeróbios estritos, apesar de algumas cepas terem a capacidade de tolerar o oxigênio em presença de dióxido de carbono. Possuem morfologia variada, podendo ser uniforme ou bifurcada em forma de Y ou V. O pH ótimo para o crescimento de *Bifidobacterium* varia entre 6,0 e 7,0, não apresentando praticamente nenhum crescimento em pHs abaixo de 4,5 e acima de 8,5. A temperatura ótima para crescimento está entre 37 e 41 °C, sendo que as temperaturas mínimas e máximas estão entre 25 - 28 °C e 43 - 45 °C, respectivamente. (SHAH, 2007; RIVERA-ESPINOZA; GALLARDO-NAVARRO, 2010). As bactérias do gênero *Lactobacillus* são ácido-láticas, do tipo bastonetes, gram-positivas que não formam esporos (AXELSSON, 2004). A fonte de energia destes microrganismos é proveniente do metabolismo fermentativo sendo o ácido lático o produto final da degradação de carboidratos, motivo pelo qual sobrevive em ambientes mais ácidos. O pH ótimo de crescimento está na faixa de 5,5 a 6,0 e temperatura ótima entre 35 °C e 40 °C.

Para que microrganismos probióticos exerçam os efeitos benéficos desejados devem estar presentes em quantidades apropriadas no alimento e serem ingeridos diariamente (KOMATSU; BURITI; SAAD, 2008). Assim, a ingestão diária mínima recomendada deve estar situada entre 10^8 e 10^9 células viáveis, o que pode ser alcançado com o consumo diário de pelo menos 100 g de um produto contendo entre 10^6 – 10^7 células viáveis por grama (BOYLSTON et al., 2004). No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece que a quantidade mínima viável para os probióticos na recomendação diária do produto pronto para o

consumo deve estar situada na faixa de 10^8 a 10^9 unidades formadoras de colônia (UFC) e que esta quantidade deve estar declarada no rótulo do alimento. Valores menores podem ser aceitos, desde que a empresa comprove a eficácia através de laudo da quantidade mínima viável do microrganismo até o final do prazo de validade e teste de resistência da cultura utilizada à acidez gástrica e aos sais biliares (BRASIL, 2013).

A elaboração de produtos funcionais a base de probióticos e a garantia da viabilidade destes é um importante parâmetro a ser avaliado, uma vez que esses microrganismos são sensíveis a uma série de fatores tais como meio ácido, presença de oxigênio e de compostos antimicrobianos (PUU-PPONEN-PIMIA et al., 2002; MORTA-ZAVIAN et al., 2007). Além da susceptibilidade, algumas cepas probióticas podem produzir *off-flavors* ao se multiplicarem nos alimentos, o que implica em produtos com reduzida aceitação sensorial. Assim, para assegurar as propriedades terapêuticas atribuídas aos probióticos, são requeridas ações para garantir sua viabilidade (FÁVARO-TRINDADE; PINHO; ROCHA, 2008).

Métodos de microencapsulação têm sido aplicados com o objetivo de aumentar o grau de sobrevivência, através da proteção dos microrganismos probióticos contra condições adversas às quais são expostos durante o processamento e armazenamento dos alimentos, e também durante a passagem pelo trato gastrointestinal, onde devem resistir ao baixo pH estomacal e a presença dos sais de bile (KOMATSU; BURITI; SAAD, 2008; DING; SHAH, 2009; COOK et al., 2012; RATHORE, et al., 2013). Além disso, a microencapsulação pode promover liberação controlada no intestino, além de evitar que estes microrganismos se multipliquem no alimento alterando suas características sensoriais (FÁVARO-TRINDADE; PINHO; ROCHA, 2008).

2 Técnicas de microencapsulação

A microencapsulação é uma técnica conhecida há muitas décadas, no entanto vem ganhando espaço em aplicações nas mais diversas áreas, tais como farmacêutica, alimentar

e cosmética (SUAVE et al., 2006). Seu conceito tem como base a idealização do modelo celular, no qual o núcleo é envolvido por uma membrana semipermeável que o protege do meio externo e, ao mesmo tempo, controla a entrada e saída de substâncias na célula (RÉ, 2006). Assim, a microencapsulação compreende um processo em que ocorre a incorporação de substâncias de interesse (núcleo ou material ativo) em um sistema de revestimento (material de parede, carreador ou agente encapsulante), obtendo-se microcápsulas com um diâmetro que varia entre 1 e 1000 μm (MADENE et al., 2006; OBEIDAT, 2009; TIWARI, et al., 2010). As substâncias a serem encapsuladas, podem apresentar-se no estado líquido ou sólido, podendo também ser um gás (TRINDADE et al., 2008).

As microcápsulas fisicamente são caracterizadas pela sua forma esférica e por apresentar aspecto sólido (FANG; BHANDARI, 2012). No entanto, o tamanho, a forma, e a estrutura das microcápsulas dependem dos materiais empregados, ou seja, dos agentes encapsulantes e do método empregado na produção.

O material a ser encapsulado pode ficar localizado na região central da cápsula ou estar disperso em uma matriz contendo o agente encapsulante (ESTEVINHO et al., 2013). O primeiro grupo caracteriza as “verdadeiras” microcápsulas, enquanto que o segundo resulta nas chamadas micropartículas ou microesferas. A principal diferença está no fato de que nas micropartículas uma pequena fração do material ativo permanece exposta na superfície. Contudo, o termo “encapsulação” tem sido empregado em seu sentido mais amplo, englobando tanto a formação de microcápsulas como de micropartículas. As microcápsulas podem ter ainda mais de um núcleo, sendo denominadas como multinuclear ou polinuclear, ou apresentar várias paredes para um mesmo núcleo (AZEREDO, 2005). A Figura 1 apresenta os principais modelos de microcápsulas.

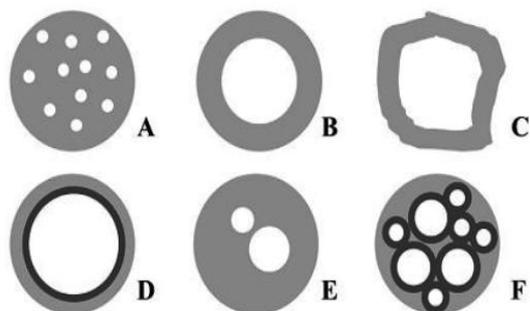


Figura 1 - Morfologia de diferentes tipos de microcápsulas: A – matriz, B – microcápsula simples (mononuclear), C – microcápsula simples irregular, D – microcápsula com duas paredes, E – microcápsula com vários núcleos (polinuclear ou multinuclear), F – agrupamento de microcápsulas

Fonte: adaptado de estevinho (2013).

Na indústria de alimentos a microencapsulação é utilizada com o objetivo de revestir um ou mais ingredientes ou aditivos por um agente encapsulante de natureza comestível, modificando e melhorando a aparência e as propriedades de algumas substâncias. Outras finalidades deste processo podem ser descritas, como a diminuição das interações da substância encapsulada em relação aos fatores ambientais, impedindo perdas sensoriais e nutricionais; mascarar substâncias com sabores indesejáveis; melhorar a solubilidade da substância encapsulada e a sua incorporação em sistemas secos; permitir que a liberação da substância encapsulada seja modificada, ocorrendo de forma lenta ou a partir de determinado estímulo; reduzir a velocidade de evaporação de substâncias voláteis e aumentar o tempo de armazenamento das substâncias a encapsular (AZEREDO, 2005; ANAL; SINGH, 2007; KUANG et al., 2010; BURGAIN et al., 2011).

Diferentes métodos (químicos, físicos ou físico-químicos) podem ser utilizados na realização do processo de microencapsulação (Tabela 1). A diferença entre eles está no envolvimento ou aprisionamento do material a encapsular pelo agente encapsulante. Dessa forma, devem ser consideradas as propriedades físico-químicas do material a encapsular e do agente encapsulante, a aplicação e finalidade, o tamanho, textura e forma das microcápsulas, bem como o mecanismo de liberação do material a ser encapsulado (BANSODE et al., 2010). Deste

modo, o método de microencapsulação deve ser simples, reprodutível, rápido e fácil de transportar a escala industrial (SILVA et al., 2003).

Diversas técnicas vem sendo utilizadas para microencapsular culturas probióticas, tais como *spray drying*, extrusão, emulsificação, coacervação, liofilização, entre outras (SEMYONOV et al., 2010; NAZZARO et al., 2012). Estas técnicas proporcionam diversos benefícios a essas culturas ou aos alimentos onde as mesmas forem empregadas na forma encapsulada (Tabela 2).

3 *Spray drying*

A técnica de *spray drying* é a mais comumente empregada na microencapsulação de probióticos, sendo também um dos métodos mais antigos, tendo sido originalmente utilizado na década de 30, para preparar os primeiros compostos encapsulados (WILSON; SHAH, 2007). O procedimento para a realização deste método compreende algumas etapas (Figura 2): primeiramente, a substância a ser encapsulada é homogeneamente dispersa ou dissolvida em uma solução aquosa ou dispersão, contendo o agente encapsulante. Depois, o sistema é atomizado em uma corrente de ar quente que vai promover a evaporação do solvente, obtendo-se a rápida solidificação das gotículas que depois serão recolhidas no ciclone. As variáveis deste processo envolvem a temperatura de entrada e saída de ar do sistema, o fluxo de ar ou fluido de arraste, a distribuição da temperatura e umidade, o tempo de permanência e temperatura da câmara. Estes parâmetros determinarão a eficiência do processo, juntamente, com as características do agente encapsulante (tamanho de moléculas, solubilidade) e características do material ativo (polaridade, pressão de vapor, tamanho de molécula) (RÉ, 1998; KISSEL et al., 2006).

Este método é o mais comumente empregado na microencapsulação de probióticos, sendo que as temperaturas utilizadas normalmente variam entre 150 e 220 °C, promovendo a evaporação instantânea do solvente, e em seguida a temperatura decresce para valores moderados (50 a 80 °C) (GHARSALLAOUI et al., 2007; de VOS et al., 2010; RATHORE et al., 2013).

Tabela 1 – Métodos utilizados na elaboração de microcápsulas

Métodos de Microencapsulação	Natureza do material do núcleo	Tamanho aproximado da partícula (μm)
Métodos físicos		
Extrusão estacionária	Líquido/sólido/gás	1.000 - 6.000
Extrusão centrífuga	Líquido/sólido/gás	125 - 3.000
<i>Spray drying</i>	Líquido/sólido	5 – 150
<i>Spray chilling</i> e <i>spray cooling</i>	Líquido/sólido	20 – 200
Leito fluidizado	Sólido	>100
Co-cristalização	Sólido/líquido	-
Liofilização	Líquido	-
Métodos químicos		
Polimerização interfacial	Líquido/sólido	1 – 500
Inclusão molecular	Líquido	5 – 50
Polimerização <i>in situ</i>	Líquido/sólido	1 – 500
Métodos físico-químicos		
Coacervação	Líquido/sólido	1 – 500
Lipossomas	Líquido/sólido	0,02-3
Liposferas	Líquido/sólido	0,02-10
Evaporação do solvente	Líquido/sólido	1-5.000

Fonte: Desai e Park (2005); Madene et al. (2006)

Tabela 2 - Efeitos benéficos da microencapsulação de probióticos

Benefício	Produto
Facilita a produção e a manutenção da viabilidade de culturas sensíveis ao oxigênio	Culturas probióticas em pó
Diminui problemas de contaminação	Culturas probióticas em pó
Melhora a sobrevivência durante a exposição a soluções gástricas e biliares	Alimentos, nutracêuticos
Proporciona maior estabilidade durante o armazenamento	Alimentos, rações, culturas <i>starter</i> , etc
Resistência durante o congelamento	Sorvetes
Aumenta retenção no produto final	Queijo
Confere proteção contra bacteriófagos	Queijo
Confere proteção contra leveduras contaminantes	Leites fermentados

Fonte: adaptado de Champagne e Fustier (2007)

Para a realização deste processo, diferentes agentes encapsulantes têm sido utilizados, sozinhos ou em conjunto, para microencapsular culturas probióticas, tais como alginato (KIM et al., 2008; GBASSI et al., 2009), goma arábica (RODRÍGUEZ-HUEZO et al., 2007), goma gelana (NAG, HAN, SINGH, 2011), quitosana (CHÁVARRI et al., 2010), maltodextrina (SEMYONOV et al., 2010), amido (YING et al., 2013), derivados do leite como proteínas (caseínas e proteínas do soro), leite em pó desnatado e soro de leite (DOHERTY et al., 2011; CASTRO-CISLAGHI, et al., 2012; DIANAWATI; MISHRA; SHAH, 2013), prebióticos (inulina, oligofrutose, polidextrose) (FRITZEN-FREIRE, et al., 2012; OKURO et al., 2013), entre outros.

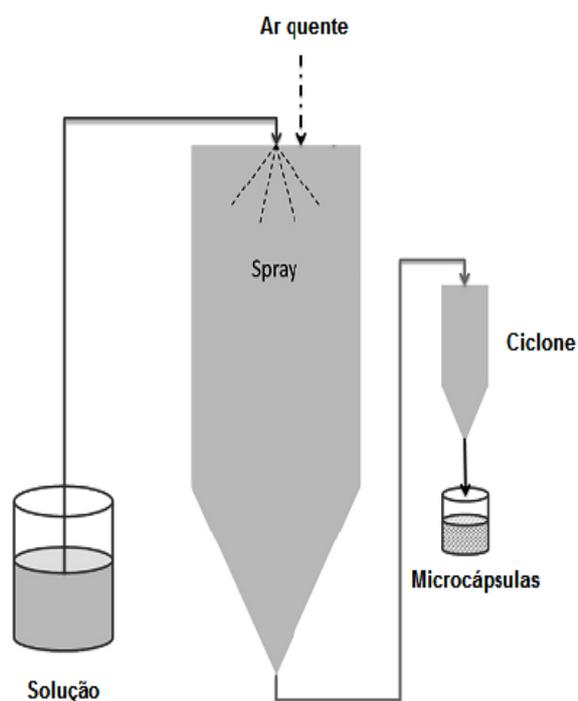


Figura 2 - Representação esquemática da microencapsulação por *spray drying*.
Fonte: adaptado de estevinho et al. (2013).

O método de microencapsulação por *spray drying* quando comparado a outros métodos, apresenta algumas vantagens, como custo relativamente baixo, facilidade de operação, alta reprodutibilidade e possibilidade de aplicação em escala industrial (BURGAIN et al., 2011; GHANDI, et al., 2012).

Contudo, a necessidade de exposição dos microrganismos a altas temperaturas pode prejudicar a integridade celular, levando a diminuição da viabilidade de probióticos encapsulados (GOLOWCZYCA et al., 2011; NAZZARO et al., 2012). Assim, diversos estudos têm avaliado a viabilidade de probióticos submetidos ao processo de *spray drying* (DESMOND et al., 2002; CORCORAN et al., 2004; ANANTA; VOLKERT; KNORR, 2005; FRITZEN-FREIRE et al., 2012; YING et al., 2012). No geral, estes estudos mostraram que os probióticos podem ser significativamente protegidos através do método de *spray drying*, sendo que a sobrevivência das culturas durante o processo e subsequente estocagem do pó está relacionada com o tipo de cepa utilizada, com as temperaturas de entrada e saída no equipamento e com o tipo de agente encapsulante. Dentre os agentes encapsulantes utilizados, os termoprotetores vêm sendo reconhecidos como um importante recurso melhorar viabilidade das culturas probióticas frente às altas temperaturas empregadas no método de *spray drying* (BURGAIN et al., 2011). Alguns compostos com propriedades termoprotetoras já foram relatados, tais como, trealose, leite desengordurado, amido granular, combinações com prebióticos e proteína de soro de leite que demonstraram significativa contribuição na sobrevivência destes microrganismos durante a secagem e armazenamento (SELMER-OLSEN et al., 1999; CRITTENDEN et al., 2001; DESMOND et al., 2002).

4 CONCLUSÃO

Os probióticos são microrganismos capazes de exercer diferentes efeitos benéficos quando consumidos em quantidades viáveis e ingeridos diariamente. No entanto, estes microrganismos apresentam sensibilidade a uma diversidade de fatores, que iniciam desde o processamento, armazenamento e também na sua passagem pelo trato gastrointestinal. Dessa forma, fica claro a necessidade de ações que melhorem a sua viabilidade e conseqüentemente garantam que os efeitos terapêuticos das culturas probióticas sejam alcançados.

A tecnologia de microencapsulação apresenta-se como uma alternativa promissora, uma vez que é capaz de proteger estes microrganismos das condições adversas aos

quais são expostos. Dentre os métodos de microencapsulação, o de *spray drying* apresenta diversas vantagens como custo relativamente baixo, facilidade de operação, altas taxas de produção e possibilidade de aplicação em escala industrial; e, além disso, estudos vêm relatando que este método foi empregado com sucesso na proteção de microrganismos probióticos.

Referências

- AXELSSON, L. Lactic acid bacteria: classification and physiology. In: SALMINEN, S. et al. **Lactic acid bacteria: microbiological and functional aspects**. 3.ed. New York: Marcel Dekker, 2004. p.1-66.
- ANANTA, E.; VOLKERT, M.; KNORR, D. Cellular injuries and storage stability of spray-dried *Lactobacillus rhamnosus* GG. **International Dairy Journal**, v. 15, p. 399- 409, 2005.
- ANAL, A. K.; SINGH, H. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. **Food Science and Technology**, v. 18, p. 240-251, 2007.
- AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 1, p. 89-95, 2005.
- BANSODE, S. S.; BANARJEE, S. K.; GAIKWAD, D. D.; JADHAV, S. L.; THORAT, R. M. Microencapsulation: a review. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research**, v. 1, n. 2, p. 38-43, 2010.
- BOYLSTON, T. D.; VINDEROLA, C. G.; GHODDUSI, H. B.; REINHEIMER, J. A. Incorporation of bifidobacteria into cheeses: challenges and rewards. **International Dairy Journal**, v. 14, p. 375-387, 2004.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Alimentos com alegações de propriedades funcionais e ou de saúde**. Disponível em: <http://s.anvisa.gov.br/wps/s/r/wu> E. Acesso em: 18 de outubro de 2013.
- BURGAIN, J.; GAIANI, C.; LINDER, M.; SCHER, J. Encapsulation of probiotic living cells: from laboratory scale to industrial applications. **Journal of Food Engineering**, v. 104, p. 467-483, 2011.
- CASTRO-CISLAGHI, F. P.; SILVA, C. R. E.; FRITZEN-FREIRE, C. B.; LORENZ, J. G.; SANT'ANNA, E. S. *Bifidobacterium* Bb-12 microencapsulated by spray drying with whey: survival under simulated gastrointestinal conditions, tolerance to NaCl, and viability during storage. **Journal of Food Engineering**, v. 113, p. 186-193, 2012.
- COOK, M. T.; TZORTZIS, G.; CHARALAMPOPOULOS, D.; KHUTORYANSKIY, V. V. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. **Journal of Controlled Release**, v. 162, p. 56-67, 2012.
- CORCORAN, B. M.; ROSS, R. P.; FITZGERALDS, G. F.; STANTON, C. Comparative survival of probiotic lactobacilli spray-dried in the presence of prebiotic substances. **Journal of Applied Microbiology**, v. 96, p. 1024-1039, 2004.
- CORREIA, M. I. T. D.; LIBOREDO, J. C.; CONSOLI, M. L. D. The role of probióticos in gastrointestinal surgery. **Nutrition**, v. 28, p. 230-234, 2012.
- CHANPAGNE, C.; FUSTIER, P. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 18, p. 184-190, 2007.
- CHÁVARRI, M.; MARAÑÓN, I.; ARES, R.; IBÁÑEZ, F. C.; MARZO, F.; VILLARÁN, M. D. C. Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate-chitosan capsules improves survival in simulated gastro-intestinal conditions. **International Journal of Food Microbiology**, v. 142, p. 185-189, 2010.
- CRITTENDEN, R. et al. Adhesion of *Bifidobacteria* to granular starch and its implications in probiotic technologies. **Applied and Environmental Microbiology**, v.67, p.3469-3475, 2001.

- DIANAWATI, D.; MISHRA, V.; SHAH, N. P. Survival of *Bifidobacterium longum* 1941 microencapsulated with proteins and sugars after freezing and freeze drying. **Food Research International**, v. 51, p. 503-509, 2013.
- DOHERTY, S. B.; GEE, V. L.; ROSS, R. P.; STANTON, C.; FITZGERALD, G. F.; BRODKORB, A. Development and characterization of whey protein micro-beads as potential matrices for probiotic protection. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 1604-1617, 2011.
- DESAI, K. G.H.; PARKA, H. J. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technology**, v. 23, n. 7, p. 1361-1394, 2005.
- DESMOND, C.; ROSS, R. P.; O'CALLAGHAN, E.; FITZGERALD, G., STANTON, C. Improved survival of *Lactobacillus paracasei* NFBC 338 in spray-dried powders containing gum acacia. **Journal of Applied Microbiology**, v. 93, p. 1003-1011, 2002.
- DEPYDERE, F.; DEWETTINCK, K.; RONSSE, F.; PIETERS, J. Food powder microencapsulation: principles, problems and opportunities. **Applied Biotechnology Food Science and Policy**, v.1, n.2, p.75-94, 2003.
- De VOS, P.; FAAS, M. M.; SPASOJEVIC, M.; SIKKEMA, J. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. **International Dairy Journal**, v. 20, p. 292-302, 2010.
- DING, W. K.; SHAH, N. P. Effect of various encapsulating materials on the stability of probiotic bacteria. **Journal of Food Science**, v. 74, p. M100-M107, 2009.
- ESTEVINHO, B.; ROCHA, F.; SANTOS, L.; ALVES, A. Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications - a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 31, p. 138-155, 2013.
- FANG, Z.; BHANDARI, B. Encapsulation of polyphenols: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 10, p. 510-523, 2010.
- FAO/WHO. **Probióticos en los alimentos**. Propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación: Estudio FAO Alimentación y Nutrición, Roma, 2006. 45p. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0512s/a0512s00.pdf>. Acesso em 11 de outubro de 2014.
- FÁVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, p. 103-112, 2008.
- FRITZEN-FREIRE, C. B.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMBONI, R. D. M. C.; PINTO, S. S.; NEGRÃO-MURAKAMI, A.; MURAKAMI, F. S. Microencapsulation of bifidobacteria by *spray drying* in the presence of prebiotics. **Food Research International**, v. 45, p. 306-312, 2012.
- GBASSI, G. K.; VANDAMME, T.; ENNAHAR, S.; MARCHIONI, E. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* spp in an alginate matrix coated with whey proteins. **International Journal of Food Microbiology**, v. 129, p. 103-105, 2009.
- GHANDI, A.; POWELL, I. B.; HOWES, T.; CHEN, X. D.; ADHIKARI, B. Effect of shear rate and oxygen stresses on the survival of *Lactococcus lactis* during the atomization and drying stages of spray drying: a laboratory and pilot scale study. **Journal of Food Engineering**, v. 113, p. 194-200, 2012.
- GOLOWCZYCA, A. M.; SILVA, J.; TEIXEIRA, P.; De ANTONI, G. L.; ABRAHAM, A.G. Cellular injuries of spray-dried *Lactobacillus* spp. isolated from kefir and their impact on probiotic properties. **International Journal of Food Microbiology**, v. 144, p. 556-560, 2011.
- GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. **Food Research International**, v. 40, p. 1107-1121, 2007.
- KISSEL, T.; MARETSCHKEK, S.; PACKHAUSER, C.; SCHNIEDERS, J.; SEIDEL, N. Microencapsulation techniques for parenteral depot systems and their application in the

- pharmaceutical industry. In: BENITA, S. **Microencapsulation: Methods and Industrial Applications**. 2^o edição. Boca Raton, CRC Press Taylor E Francis Group, pp. 104, 2006.
- KIM, S.; SEUNG, Y. C.; KIM, S. H.; SONG, O.; SHIND, S.; CHA, D. S.; PARK, H. J. Effect of microencapsulation on viability and other characteristics in *Lactobacillus acidophilus* ATCC 43121. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, p. 493-500, 2008.
- KING, A.H. Encapsulation of Food ingredients: a review of available technology, focusing on hydrocolloids. In: RISCH, S.J.; REINECCIUS, G.A. (Eds.). **Encapsulation and controlled release of food ingredients**. Washington DC, American Chemical Society, pp.213-220, 1995.
- KOMATSU, T. R.; BURITI, F. C. A.; SAAD, S. M. I. Inovação, persistência e criatividade superando barreiras no desenvolvimento de alimentos probióticos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 44, p. 329-347, 2008.
- KUANG, S. S.; OLIVEIRA, J. C.; CREAM, A. M. Microencapsulation as a tool for incorporating bioactive ingredients into food. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, n. 10, p. 1913-1918, 2010.
- MADENE, A.; MURIEL, J.; SCHER, J.; DESOBRY, S. Flavour encapsulation and controlled release – a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, n. 1, p. 1-21, 2006.
- MAKINEN, K.; BERGER, B.; BEL-RHLID, R.; ANANTA, E. Science and technology for the mastership of probiotic applications in food product. **Journal of Biotechnology**, v. 162, p. 356-365, 2012.
- MORTAZAVIAN, A.; RAZAVI, S. H.; EHSANI, M. R.; SOHRABVANDI, S. Principles and methods of microencapsulation of prebiotic microorganisms. **Iranian Journal of Biotechnology**, v. 5, p. 1-18, 2007.
- NAG, A.; HAN, K.; SING, H. Microencapsulation of probiotic bacteria using pH-induced gelation of sodium caseinate and gellan gum. **International Dairy Journal**, v. 21, p. 247-253, 2011.
- NAZZARO, F.; PIERANGELO, O.; FRATIANNI, F.; COPPOLA, R. Microencapsulation in food science and biotechnology. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, p. 182-186, 2012.
- OBEIDAT, W. N. Recent patents review in microencapsulation of pharmaceuticals using de emulsion solvent removal methods. **Recent Patents on Drug Delivery & Formulation**, v. 3, n. 3, p. 178-192, 2009.
- OKURO, P. K.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; LIBERAL, R. D. C. O.; FÁVARO-TRINDADE, C. S. Co- encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* with inulin or polydextrose in solid lipid microparticles provides protection and improves stability. **Food Research International**, v. 53, p. 96-103, 2013.
- PUUPPONEN-PIMIA, R.; AURA, A. M.; OKSMAN-CALDENTY, K. M.; MYLLARINEN, P.; SAARELA, M.; MATTILA-SANDHOLM, T.; POUTANEN, K. Development of functional ingredients for gut health. **Trends in Food Science and Technology**, v. 13, p. 3-11, 2002.
- PLESSAS, S.; BOSNEA, L.; ALEXOPOULOS, A.; BEZIRTZOGLU, E. Potential effects of probiotics in cheese and yogurt production: A review. **Engineering in Life Sciences**, v. 12, p. 433-440, 2012.
- RANADHEERA, R. D. C. S.; BAINES, S. K.; ADAMS, M. C. Importance of food in probiotic efficacy. **Food Research International**, v. 43, p. 1-7, 2010.
- RATHORE, S.; DESAI, P. M.; LIEW, C. V.; CHAN, L. W.; HENG, P. W. S. Microencapsulation of microbial cells. **Journal of Food Engineering**, v. 116, p. 369-381, 2013.
- RÉ, M. I. Formulating drug delivery systems by *spray drying*. **Drying Thecnology**, v. 24, n. 4, p. 433-446, 2006.
- RÉ, M.I. Microencapsulation by spray drying. **Drying Technology**, v.16, p.1195-1236, 1998.

- RIVERA-ESPINOZA, Y.; GALLARDO-NAVARRO, Y. Non-dairy probiotic products. **Food Microbiology**, v. 27, p. 1-11, 2010.
- RODRÍGUEZ-HUEZO, M. E.; DURAN-LUGO, R.; PRADO-BARRAGAN, L. A.; CRUZ-SOSA, F.; LOBATO-CALLEROS, C.; ALVAREZ-RAMÍREZ, J.; VERNON-CARTER, E. J. Pre-selection of protective colloids for enhanced viability of *Bifidobacterium bifidum* following spray-drying and storage, and evaluation of aguamiel as thermoprotective prebiotic. **Food Research International**, v. 40, p. 1299-1306, 2007.
- SAAD, N.; DELATTRE, C.; URDACI, M.; SCHMITTER, J. M.; BRESSOLLIE, P. An overview of the last advances in probiotic and prebiotic field. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, p. 1-16, 2013.
- SEMYONOV, D.; RAMON, O.; KAPLUN, Z.; LEVIN-BRENER, L.; GUREVICH, N.; SHIMONI, E. Microencapsulation of *Lactobacillus paracasei* by spray freeze drying. **Food Research International**, v. 43, p. 193-202, 2010.
- SHAH, N. P. Functional cultures and health benefits. **International Dairy Journal**, v. 17, p. 1262-1277, 2007.
- SILVA, C.; RIBEIRO, A.; FERREIRA, D.; VEIGA, F. Administração oral de proteínas e peptídeos: II. Aplicação de métodos de microencapsulação. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 39, n. 1, p. 1-9, 2003.
- SUAVE, J.; DALL'AGNOL, E. C.; PEZZIN, A. P. T.; SILVA, D. A. K.; MEIER, M. M, SOLD, V. Microencapsulação: inovação em diferentes áreas. **Health and Environment Journal**, v. 7, n. 2, p.12-20, 2006.
- TIWARI, S.; GOEL, A.; JHA, K. K.; SHARMA, A. Microencapsulation techniques and its application: a review. **The Pharma Research**, v. 3, n. 12, 2010.
- TRINDADE, C. S. F.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Review: microencapsulation of food ingredients. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, n. 2, p. 103-109, 2008.
- WEICHSELBAUM, E. Probiotics and health: a review of the evidence. **Nutrition Bulletin**, v. 34, p. 340-373, 2009.
- WILSON, N.; SHAH, N. P. Microencapsulation of vitamins. **ASEAN Food Journal**, v. 14, n. 1, p. 1-14, 2007.
- YING, D. Y.; SANGUANSRI, L.; WEERAKKODY, R.; AUGUSTIN, M. A. Enhanced survival of spray-dried microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* GG in the presence of glucose. **Journal of Food Engineering**, v. 109, p. 597-602, 2012.