



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



**MICROENCAPSULAMENTO DE *Lactobacillus acidophilus* A PARTIR  
DE EXTRATO SOLÚVEL DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*): Um  
estudo de parâmetros de processo**

AMANDA FERNANDES OLIVEIRA DE SOUZA

Recife

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

**MICROENCAPSULAMENTO DE *Lactobacillus acidophilus* A PARTIR  
DE EXTRATO SOLÚVEL DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*): Um  
estudo de parâmetros de processo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> CELIANE GOMES MAIA DA SILVA.

CO-ORIENTADORA: Dr<sup>a</sup> AMANDA RAFAELA CARNEIRO DE MESQUITA.

Recife

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- A484m Souza, amanda Fernandes Oliveira de Souza  
MICROENCAPSULAMENTO DE *Lactobacillus acidophilus* A PARTIR DE EXTRATO SOLÚVEL DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*): Um estudo de parâmetros de processo / amanda Fernandes Oliveira de Souza Souza. - 2020.  
97 f.
- Orientadora: Celiane Gomes Maia da Silva.  
Coorientadora: Amanda Rafaela Carneiro de Mesquita.  
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Recife, 2021.
1. Spray dryer. 2. Prebiótico. 3. *Lactobacillus acidophilus*.. I. Silva, Celiane Gomes Maia da, orient. II. Mesquita, Amanda Rafaela Carneiro de, coorient. III. Título

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

**MICROENCAPSULAMENTO DE *Lactobacillus acidophilus* A PARTIR  
DE EXTRATO SOLÚVEL DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*): Um  
estudo de parâmetros de processo**

**Por** Amanda Fernandes Oliveira de Souza

Esta Dissertação será julgada para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos no dia \_\_/\_\_/\_\_ pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimento.

Banca Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Samara Alvachian Cardoso Andrade  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Silvana Magalhães Salgado  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Dr<sup>a</sup>. Milena Fernandes da Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

Nesses anos de mestrado, de muito estudo, esforço e empenho, gostaria de agradecer a algumas pessoas que me acompanharam e foram fundamentais para a realização desse sonho. Assim, expresso aqui através de palavras sinceras a importância que elas tiveram e ainda têm nesta conquista. A vocês serei eternamente grata.

Primeiramente agradeço a Deus que sempre esteve comigo, guiando-me e dando forças para continuar. Sem essa força divina, nenhuma conquista seria possível. Aos meus amados pais, Alexandre Fernandes de Souza (*in memoriam*), minha mãe Albenita Oliveira de Souza, a minha irmã Alexanne Fernandes Rodrigues do Nascimento, por fazer parte da minha vida. Obrigada por desejarem sempre o melhor para mim, pelo esforço que fizeram para que eu pudesse superar cada obstáculo em meu caminho e principalmente pelo amor que tem por mim. Sei que em qualquer momento poderei contar com vocês. A vocês, minha família, sou eternamente grata por tudo que sou, por tudo que consegui conquistar e pela felicidade que tenho.

Minha gratidão especial a PROF<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Celiane Gomes Maia, minha orientadora, obrigada pela disponibilidade, confiança, força e colaboração na produção deste trabalho. A minha co-orientadora Dr<sup>a</sup> Amanda Rafaela Carneiro de Mesquita por sempre estar disponível a ajudar nessa jornada. Sem suas orientações, apoio e confiança nesse caminho percorrido, nada disso seria possível. Agradeço ao laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos (DCD/UFRPE), na colaboração, ajuda durante o desenvolvimento do meu trabalho.

Quero agradecer também a pessoa que sempre esteve ao meu lado, me apoiando em tudo, Tiago Santana, obrigada pelo seu amor, carinho e companheirismo nessa jornada. Agradeço também aos colegas de turma Débora Layza, Marcos Ubiratam, Nadja Nara, Samuel de Santana e Thaynna Leocadio por ajudar nesse percurso acadêmico, compartilhando importantes conhecimentos comigo. Obrigada pela amizade e companheirismo. Contudo, ainda dentre os colegas do mestrado, gostaria de fazer um agradecimento especial ao querido amigo

Eduardo do Nascimento Filho, que mesmo fazendo as análises da sua pesquisa, não poupou esforços para me ajudar e fazer com que a concretização desta dissertação fosse possível. Sem sua ajuda teria sido impossível tratar os dados desta pesquisa. Por isso, sou imensamente grata a você.

As amigas Aryadine Tuanne, Debora Joice, Sandra Lucia, Thayanna da Conceição, Isabele Rodrigues e Rosemary Ribeiro, por estarem ao meu lado e prontas para me ajudar sempre que necessário. Obrigada pela amizade, atenção e por serem tão solícitas. Agradeço também a Luciana Maria Staundinger, Maria Gabriela Carvalheira, Midori Sugaya e Nizia Mayra por me aturarem nos meus dias de estresses e também por torcerem por mim.

Por fim, um agradecimento muito especial vai aos meus sobrinhos Claudio Rodrigues do Nascimento e Isabela Fernandes Rodrigues do Nascimento, obrigada por fazerem a minha vida mais leve e divertida. Amo vocês.

## RESUMO

A batata yacon é um tubérculo nativo da América do Sul que possui características de alimentos funcionais, uma vez que apresenta um alto teor de fruto-oligossacarídeos (FOS) que auxiliam na função intestinal e na formação dos compostos fenólicos os quais atuam como antioxidantes no organismo. Diante desses atributos foi elaborado um projeto com a finalidade de beneficiar a batata yacon em um produto em pó, com propriedades probióticas através de atomização por *Spray Dryer* e da adição do *Lactobacillus acidophilus*. A batata yacon foi adquirada no Centro de Abastecimento de Pernambuco – CEASA, localizado da cidade de Recife – PE. Foi realizada a caracterização físico-química da amostra e preparado um extrato aquoso. Para a secagem em *Spray Dryer* foi elaborada uma solução de alimentação com 30% de sólidos totais, adicionando o *Lactobacillus acidophilus* LAFTI L10. O processo foi otimizado por meio de um planejamento fatorial  $2^3$  com 8 pontos fatoriais e 3 pontos centrais, totalizando 11 ensaios, onde as variáveis independentes foram Temperatura do ar de secagem ( $^{\circ}\text{C}$ ), Vazão Mássica (l/h) e Material de Parede (MP) (maltodextrina e/ou goma arábica), e as respostas foram: Eficiência de Encapsulamento, Umidade (%); Atividade de água ( $A_w$ ); Análise Colorimétrica, Higroscopicidade ( $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ), Compostos fenólicos, Análise de Potencial antioxidante, Viabilidade celular ( $\log \text{UFC/g}$ ) e uniformidade da morfologia do microencapsulado foram determinadas pela microscopia eletrônica. Todas as determinações foram efetuadas em triplicata e os resultados expressos em média  $\pm$  desvio padrão. As condições otimizadas obtidas a partir da análise dos gráficos de superfície de resposta para os pós atomizados foram diferentes temperaturas de secagem ( $110^{\circ}\text{C}$ ,  $130^{\circ}$  e  $150^{\circ}\text{C}$ ), vazão de Mássica (0,48 L/h; 0,60 L/h e 0,72 L/h) e MP [maltodextrina (MD) e goma arábica (GA)], atingindo concentração final de 30 %. Independente da condição de processo e do MP utilizado, a microencapsulação mostrou proteção do *L. acidophilus* LAFTI L10 na qual a eficiência da microencapsulação foi de (78,37 a 99,59%), além de baixo teor de umidade (3,97 a 8,3 %), de  $a_w$  (0,14 a 0,38). O estudo demonstrou que a encapsulação da GA como material de parede proporcionou a obtenção de um pó com boa viabilidade celular, melhor perfil na atividade antioxidante do DPPH e FRAP, assim, pode ser

considerada uma técnica promissora a ser utilizada na produção de novos produtos alimentícios com propriedades funcionais.

**Palavras-chave:** *Spray dryer; Prebiótico, Lactobacillus acidophilus.*

## ABSTRACT

The yacon potato is a native South America tuber that has functional food characteristics, the yacon potato had a high concentration of fructooligosaccharides (FOS) that can help in the formation of fecal bolus and phenolic compounds which act as antioxidants in the body. Given these attributes, this project was developed to benefit the yacon potato in a powdered product with probiotic properties by spray-drying atomization and the addition of *Lactobacillus acidophilus*. The yacon potato was purchased at Pernambuco Supply Center - CEASA, located in Recife - PE. The physicochemical characterization was performed in the sample and an aqueous extract was prepared. For spray-drying, a 30% total solids solution was prepared with the addition of *Lactobacillus acidophilus* LAFTI L10. The process was optimized using a factorial design  $2^3$  with 8 factorial points and 3 central points, totaling 11 trials, in which the independent variables are drying air temperature ( $^{\circ}$  C), feed rate (l/h) and encapsulating agents used (maltodextrin and/or gum arabic) and the answers are Encapsulation efficiency, Moisture (%), Water Activity (aw), Colorimetric analysis, Hygroscopicity (g.100g<sup>-1</sup>), Phenolic compounds, Potential Antioxidant and Viable Cell Count (log CFU / g) and the microparticles morphology was determined by electronic microscopy. All analysis was made in triplicate samples and the results expressed as mean  $\pm$  standard deviation. The optimized conditions obtained from the analysis of the response surface graphs for the spray-drying powders were different drying temperatures (110 $^{\circ}$ , 130 $^{\circ}$  and 150  $^{\circ}$  C), Mass flow rate (0.48 L / h; 0.60 L / h 0.72 L / h) and wall material (WM) [maltodextrin (MD) and gum arabic (GA)], reaching a final concentration of 30%. Even of the process condition and the WM used, microencapsulation showed protection from *L. acidophilus* LAFTI L10 in which the efficiency of microencapsulation was (78.37 to 99.59%), in addition to low moisture content (3.97 to 8.3%), from aw (0.14 to 0.38). The project demonstrated that encapsulation of GA as a wall material provided the obtainment of a powder with good cell viability, better profile in the antioxidant activity of DPPH and FRAP, thus, it can be considered a promising technique to be used in the production of new food products with functional properties.

Keywords: Spray dryer; Prebiotic, *Lactobacillus acidophilus*.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Batata Yacon. Fonte: autoria própria (2020).....	20
<b>Figura 2.</b> Coloração de Gram do <i>Lactobacillus acidophilus</i> LAFTI L10 (aumento 1000x).....	25

## ARTIGO 1

<b>Figura 1-</b> Fluxograma do processamento do extrato solúvel de yacon ( <i>Smallanthus sonchifolius</i> ) .....	57
<b>Figura 2.</b> Diagrama de Pareto da atividade de água de yacon atomizado inoculado com <i>L.acidophilus</i> LAFTI L10.....	66
<b>Figura 3.</b> Superfície de resposta para atividade de água em função do material de parede (maltodextrina) e da temperatura (°C) de yacon atomizado inoculado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10.....	66
<b>Figura 4.</b> Diagrama de Pareto da Umidade de yacon atomizado inoculado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10.....	68
<b>Figura 5.</b> Superfície de resposta para umidade em função do material de parede e vazão (L/h) de yacon atomizado inoculado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10.....	69
<b>Figura 6.</b> Superfície de resposta para umidade em função da vazão (L/h) e temperatura (°C) de yacon atomizado inoculado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10.....	70
<b>Figura 7.</b> Diagrama de Pareto da Higroscopicidade de yacon atomizado inoculado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10.....	71
<b>Figura 8 –</b> Diagramas de Pareto dos parâmetros de Cor (L*; a*;b*) pó de yacon atomizado inoculado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10.....	74
<b>Figura 9.</b> Diagrama de Pareto do teor de fenólicos totais (mg de EAG/g) de yacon atomizado inoculado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10.....	76

<b>Figura 10.</b> Superfície de resposta dos compostos fenólicos em função do material de parede e da vazão (L/h) de yacon atomizado inoculado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10.....	78
<b>Figura 11.</b> Superfície de resposta para atividade antioxidante DPPH (A) e FRAP (B) em função da concentração do material de parede (%) e da temperatura (°C) para o yacon atomizado inoculado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10.....	80
<b>Figura 12.</b> Diagrama de Pareto da Viabilidade de <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10 de yacon atomizado.....	82
<b>Figura 13.</b> Superfície de resposta para viabilidade em função da concentração de material de parede (%) e da temperatura (°C) de yacon atomizado inoculado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10.....	82
<b>Figura 14.</b> Imagens por Microscopia Eletrônica de Varredura do extrato de yacon microencapsulado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10 por <i>spray drying</i> utilizando diferentes materiais de parede e temperaturas de secagem.....	86

## LISTA DE TABELAS:

### ARTIGO

<b>Tabela 1-</b> Matriz de planejamento fatorial com variáveis independentes, variáveis dependentes e concentração do material de parede.....	59
<b>Tabela 2.</b> Composição centesimal da raiz de yacon.....	63
<b>Tabela 3.</b> Resultados das variáveis dependentes, Umidade, Atividade de Água e Higroscopicidade) do planejamento fatorial 2 <sup>3</sup> .....	64
<b>Tabela 4 -</b> Resultado do planejamento fatorial 2 <sup>3</sup> em relação à cor (L, a e b).....	74
<b>Tabela 5.</b> Valores das respostas Compostos Fenólicos, Potencial Antioxidante e Viabilidade no extrato de yacon em pó inoculado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10.....	75
<b>Tabela 6.</b> Efeito de variáveis independentes na eficiência do encapsulamento, do pó de yacon inoculado com <i>L. acidophilus</i> LAFTI L10...	83

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de Variância
Aw	Atividade de Água
DPPH	1,1-difenil-2-picrilhidrazina
EE	Eficiência da Encapsulação
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
GA	Goma Arábica
MD	Maltodextrina
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MP	Material de Parede
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE.....</b>	<b>19</b>
<b>3.REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
3.1 Características da batata Yacon.....	20
3.2 Propriedades Funcionais do Yacon.....	21
3.3 Probióticos.....	23
3.4 Microencapsulação.....	26
3.5 Secagem por Atomização ( <i>Spray drying</i> ).....	28
3.6 Agente Encapsulante.....	30
3.6.1 Goma Arábica e maltodextrina.....	31
<b>4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>33</b>

### **ARTIGO: MICROENCAPSULAMENTO DE *Lactobacillus acidophilus* A PARTIR DE EXTRATO SOLÚVEL DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*)**

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>54</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>56</b>
Preparo das Amostras.....	56
Composição físico-química da raiz de yacon.....	56
Obtenção do extrato de yacon.....	56
Meio de cultura.....	58
Encapsulação do extrato de yacon e <i>Lactobacillus acidophilus</i> .....	58
Planejamento Fatorial.....	58
Determinação analítica do microencapsulado.....	60
<i>Eficiência do Encapsulamento (EE)</i> .....	60
<i>Umidade</i> .....	60
<i>Atividade de Água</i> .....	60
<i>Higroscopicidade</i> .....	61

<i>Análise Colorimétrica.....</i>	61
<i>Compostos Fenólicos.....</i>	61
<i>Análise do potencial antioxidante das microcápsulas. ....</i>	61
<i>Avaliação da Viabilidade Celular .....</i>	62
<i>Microscopia eletrônica de Varredura.....</i>	62
<i>Análise estatística.....</i>	63
<b>3.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	63
<b>4.CONCLUSÃO .....</b>	87
<b>5.REFERÊNCIAS.....</b>	88

## 1. INTRODUÇÃO

A obesidade se tornou uma epidemia em todo o mundo e está associada a uma morbidade e mortalidade significativa. A prevalência mundial da obesidade quase triplicou entre 1975 e 2016. De acordo com estimativas da Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2016, em torno de 2 bilhões de adultos (39% dos adultos) estavam com sobrepeso e mais de 650 milhões obesos (WHO, 2019).

A preocupação com o aumento da prevalência de excesso de peso deve-se principalmente as consequências para a saúde, pois representa um importante fator de risco para as doenças crônicas não transmissíveis e morbidades (LAVIE et al., 2018; WHO, 2016).

Alimentos funcionais podem regular o sistema imunológico por meio do aumento ou inibição da resposta imunológica, que fornece as defesas do hospedeiro contra infecções e inflamação (HACHIMURA; TOTSUKA; HOSONO, 2018). A produção desses componentes alimentares, como prebióticos e probióticos, vem crescendo com o intuito de combater problemas crônicos de saúde como a doença hepática gordurosa não alcoólica (DHGNA), câncer, obesidade, diabetes e doenças cardiovasculares. Atualmente, os alimentos funcionais mais conhecidos são os probióticos e os prebióticos por suas propriedades promotoras da saúde (TOLLULOPE, 2020).

As definições atribuídas aos alimentos funcionais são muitas e incluem alimentos comercializados que beneficia a saúde, fontes de alimentos com propriedades fisiológicas favoráveis além de seus usos nutricionais de fornecimento de nutrientes essenciais e substâncias naturais que podem ser consumidas diariamente destinadas à regular ou melhorar um sistema do corpo após a ingestão (RIVERA; BOCANEGRA-GARCÍA, 2010; MAROYI, 2019). O Consenso Europeu definiu que um alimento pode ser considerado funcional se for satisfatoriamente demonstrado que beneficia uma ou mais funções-alvo no corpo, além dos efeitos nutricionais adequados, de uma forma que seja relevante para melhorar o estágio de saúde e bem-estar e / ou redução do risco de doenças (ROBERFROID, 2000). Um alimento funcional pode ser natural, com adição de componentes ou alimentos sem componentes por meio de processos biotecnológicos (UKEYIMA, et al. 2010). Os

ingredientes dos alimentos funcionais baseados em fatores tecnológicos podem auxiliar na prevenção de algumas doenças ou melhorar o desempenho e o bem-estar dos consumidores para além do seu papel nutricional (SILVA, et al. 2020).

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) o alimento para ser considerado funcional determina que a utilização de probióticos seja conforme a comprovação da segurança e efeitos benéficos ao ser humano após sobreviver ao trato gastrointestinal, além de evidência de estudos que identifiquem a espécie e caracterizem a sua linhagem (BRASIL, 1999). Espécies comuns de *Lactobacilos* utilizados em alimentos são *Lactobacilos acidophilus*, *Lactobacilos rhamnosus*, *Lactobacilos paracasei* e *Lactobacilos plantarum* (SAAD, et al. 2013).

Os prebióticos são componentes intrínsecos dos alimentos, capazes de proporcionar benefícios à saúde do hospedeiro por meio da estimulação seletiva da atividade das bactérias colônicas (GIBSON; ROBERFROID, 1995). A Associação Científica Internacional de Probióticos e Prebióticos (ISAPP) em Londres (Reino Unido), definiu um prebiótico como “um substrato que é utilizado seletivamente por microorganismos hospedeiros que confere um benefício à saúde” (GIBSON, et al. 2017). Dentre os prebióticos conhecidos destacamos os fruto-oligossacarídeos, inulina, galacto-oligossacarídeos, lactulose e oligossacarídeos (REIG; ANESTO, 2002).

O yacon é uma raiz tuberosa, origem na região andina, pertence à família Asteraceae, também chamada de compositae. Tem como nome científico *Smallanthus sonchifolius*. A espécie se adapta a diferentes regiões climáticas, altitudes e tipos de solos (SILVA et al., 2018), sendo cultivada em diferentes países como Argentina, Bolívia, República Checa, Equador, Itália, Japão, Coreia, Nova Zelândia, Peru, Estados Unidos e Brasil (CAETANO, et al., 2016).

A raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é considerada uma fonte natural de fruto-oligossacarídeos, proporcionando uma fermentação seletiva no cólon pelas bifidobactérias e lactobacilos (RICARTE et al, 2019). Por isso, é adicionado a muitos produtos para promover a manutenção da microbiota intestinal saudável (OLIVEIRA et al., 2016; SOUSA et al., 2015). O yacon é um alimento

diferenciado dos demais tubérculos, pois em sua composição é bastante rica em carboidratos, que estão armazenados na forma de fruto-oligossacarídeos (FOS) e inulina e apresenta um sabor adocicado (BRANDÃO et al, 2019; OJANSIVU et al., 2011; CAMPOS et al., 2012).

As raízes do yacon são passíveis às reações de escurecimento enzimático e apresentam elevado teor de água (até 70% do peso fresco). É muito perecível, deteriora-se rapidamente devido ao seu alto teor de umidade e atividade enzimática (SHI et al., 2013). Com isso, é elevado o índice de perdas durante a pós-colheita, conseqüentemente há perdas econômicas, restringindo o desenvolvimento sustentável da cultura (SHI et al., 2013). Sua safra é sazonal, por isso é importante ter alternativas de processamento que aumente a estabilidade e disponibilidade deste alimento ao longo do ano (SILVA et al. 2015).

A microencapsulação por spray dryer é uma tecnologia usada, processo pelo qual uma substância (agente ativo), no estado sólido, líquido ou gasoso, é aprisionada dentro de pequenas cápsulas, de tamanho variado (KRISHNA; JYOTHIKA, 2015). Essa técnica protege moléculas sensíveis à luz, calor, umidade ou oxidação (AIZPURUA-OLAIZOLA et al., 2016), além de melhorar a biodisponibilidade e estabilidade das moléculas e dos produtos (DUBE et al., 2010), torna-se bastante interessante para aplicação em extratos contendo compostos fenólicos e/ou outros compostos bioativos (AGUIAR et al.,2017).

A escolha do material de parede apropriado é a etapa principal no encapsulamento de secagem por spray. Algumas das propriedades ideais incluem: baixa viscosidade, baixa Higroscopia (para evitar aglomeração e facilitar a manipulação), capacidade de estabilizar o material do núcleo em emulsão, alta solubilidade, capacidade de formação de filme, fornece alta proteção, ausência de sabor ou odor e baixo custo (FRANCO et al., 2017)

Sabendo que a raiz de yacon é fonte de fibras prebióticas e os microrganismos probióticos equilibram a microflora intestinal mantendo a saúde do indivíduo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes agentes encapsulantes sobre a viabilidade do *Lactobacillus acidophilus* LAFTI L10 no extrato

de yacon em pó, sobre as características físicas e físico-químicas e potencial probiótico avaliando suas características físicas e físico-químicas.

## 2. PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE

“A atomização utilizando goma arábica e maltodextrina para obtenção do pó do extrato de yacon com boa viabilidade de *Lactobacillus acidophilus* LAFTI L10 e características físicas e físico-químicas satisfatórias?”

O pó obtido a partir do extrato de yacon contendo *Lactobacillus acidophilus* LAFTI L10 microencapsulado apresentará características microbiológicas, físicas e físico-químicas satisfatórias, possibilitando aplicá-lo na indústria de alimentos.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Características da batata Yacon

Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) (Figura 1) é uma raiz que pertence à família botânica *Asteraceae* (CAETANO et al., 2016) e uma rica fonte de frutooligossacarídeos (FOS) e compostos fenólicos, particularmente ácido clorogênico (SILVA et al., 2018). O nome yacon é composto de duas palavras yakku = insípido e unu = água, significando água sem sabor (ZARDINI, 1991).

Apresenta características vantajosas sobre os demais tubérculos pela sua alta produtividade, controle da erosão, adaptabilidade às variedades de climas e solos. E também possui qualidades na alimentação, como por exemplo, proporciona uma alimentação de baixa caloria e com propriedades medicinais (GRAU; REA, 1997).

As raízes de yacon são geralmente consumidas como frutas, pois são suculentas e doces como uma maçã (DE ANDRADE et al., 2014). Possui um sabor adocicado com textura crocante, podendo ser consumida crua, cozida, processados como adoçante, xarope, suco e triturados a farinha, após secagem (GENTA et al., 2009; OJANSIVU et al., 2011; DE ANDRADE et al., 2014).

Cultivado na região andina na América do Sul, o Peru é o país onde há maior biodiversidade desse tubérculo. Devido as suas características, houve uma expansão para outras regiões fora dos Andes. Ela também é cultivada no Brasil, República Tcheca, China, Japão, Nova Zelândia, Filipinas, Rússia, Coreia do Sul e EUA (KIM et al., 2012; HONOR'E, 2015).

**Figura 1.** Batata Yacon



Fonte: Autoria própria (2020).

Em contraste com a maioria das raízes comestíveis de armazenamento de amido, o yacon armazena seus carboidratos na forma de  $\beta$ - (2  $\rightarrow$  1) oligofrutanos (GOTO et al., 1995). É rico em fruto-oligossacarídeo (FOS), que melhora a viabilidade de probióticos no metabolismo gastrointestinal (GENTA et al., 2009; OJANSIVU et al., 2011).

Além disso, métodos analíticos evidenciam seu potencial medicinal que está relacionado ao seu alto teor de compostos bioativos (RUSSO et al., 2015) como os flavonóides, compostos fenólicos e triptofano com atividade antioxidante, anti-inflamatória e propriedades anticancerígena (DELGADO et al., 2013).

A raiz apresenta baixo teor calórico com mais de 70% de água e é rica em fibra (aproximadamente 45g em 100g de matéria seca), principalmente fruto-oligossacarídeos (FOS) (CAETANO et al., 2016). O FOS e inulina são conhecidos como fontes de prebióticos com efeito benéfico à saúde humana (FERNANDEZ et al., 2013; DWIVEDI et al., 2014).

Assim, a principal funcionalidade apresentada pelo yacon é o seu potencial prebiótico, pois nele há compostos que são facilmente metabolizados e podem estimular o crescimento de bactérias benéficas (SOUZA et al., 2015)

Campos et al. (2012) obtiveram resultados positivos, ao testar o efeito prebiótico do yacon *in vivo*. Concluíram que uma dieta rica em FOS promoveu o crescimento das bactérias benéficas como as Bifidobactérias e *Lactobacillus*, resultando em níveis elevados de Ácidos Graxos de Cadeia Curta (AGCC). Assim, os resultados mostrados evidenciaram benefícios para a saúde do cólon intestinal.

No entanto, o yacon é um alimento altamente perecível, mesmo quando armazenado sob refrigeração (SHI et al., 2013). A desidratação de raízes de yacon sem adição de conservantes ou químicos é um processo simples para garantir um produto natural com grande estabilidade, principalmente de FOS (CAETANO et al., 2016).

### 3.2 Propriedades Funcionais do Yacon

É crescente a procura por alimentos funcionais, como também o incentivo para inovação na elaboração de novos produtos alimentícios (KUMAR et al., 2015;

PARUSSOLO et al., 2017). Os alimentos considerados funcionais são definidos como produtos alimentares convencionais, que faz parte da dieta normal e demonstram benefícios para a saúde, além de suas propriedades nutricionais (RAI et al., 2016).

Os componentes que são considerados funcionais muito estudados são os antioxidantes, ácidos graxos insaturados, prebióticos e probióticos (AL-SHERAJI et al., 2013; YASMIN et al., 2015).

As raízes de yacon têm sido estudadas como alimentos funcionais, devido a sua alta concentração de FOS e componentes antioxidantes (JIMENÉZ; SAMMÁN, 2014; SOUZA et al., 2015). O FOS é um prebiótico que garante propriedades promotoras de saúde (CAETANO et al., 2016) .

O estudo randomizado, duplo cego, realizado por Machado et al. (2018) avaliou o consumo diário de 25g da farinha de yacon (0,1 g de FOS /kg de peso corporal / dia) durante 6 semanas em vinte e seis adultos com excesso de peso. Os resultados mostraram uma ingestão de fibra alimentar adequada, com menor frequência de constipação e consistência das fezes. Além da diminuição do peso corporal, gordura corporal e circunferência da cintura.

O consumo de yacon leva a redução de glicose através de seus efeitos inibitórios sobre a  $\alpha$ -glucosidase, enzima responsável pela absorção intestinal de glicose. Com essa inibição, ocorre uma redução na absorção de glicose pelo intestino, reduzindo as concentrações de glicose pós- prandial no sangue (ZHEN-YUAN et al., 2014).

O yacon também tem outro constituinte que pode ter efeitos hipoglicêmicos, o ácido clorogênico (ácido 3-O-cafeoil-D-quínico (CGA), um éster formado por ácidos caféico e químico, que é um dos principais compostos polifenólicos do yacon. O CGA pode modular a concentração plasmática de insulina e inibir a gliconeogênese hepática (GENTA et al., 2009; OJANSIVU et al., 2011), devido à inibição da glicose-6-fosfatase, enzima que catalisa a etapa final de glicogenólise e gliconeogênese (ARION et al., 1998; HERLING et al., 1998).

Em um estudo experimental realizado por Dionisio et al. (2015), foi testada uma bebida funcional com yacon e suco de caju. Foram divididos em três grupos: grupo controle, diabéticos não tratados e diabéticos em tratamento com 100, 200 ou

400 mg de bebida funcional liofilizada administradas em 30 dias. Os resultados mostraram que a bebida funcional promoveu o crescimento da atividade de lactobacilos da microflora cecal de ratos *wistar* em todas as concentrações testadas.

Sivieri et al. (2014) investigaram a ação prebiótica de um extrato aquoso de yacon (AYE) no Simulador de Ecosistema Microbiano Intestinal Humano (SHIME). Nesse estudo, eles observaram um aumento seletivo de bactérias probióticas nas populações de *Bifidobacterium spp.* e *Lactobacillus spp.*, e um aumento na produção de ácidos graxos de cadeia curta no sistema SHIME. Esses resultados foram positivos em relação ao potencial como propriedades funcionais presentes no yacon.

### 3.3 Probióticos

A estimativa de crescimento para ingredientes e suplementos probióticos é de US\$ 36,7 bilhões em 2018 e US\$ 48 bilhões em 2019, com uma taxa de crescimento anual composta de 6,2% (TECHNAVIO, 2016; VASAVA; JANA, 2017).

A microbiota gastrointestinal tem efeitos diretos na saúde através da modulação dos sistemas imune, metabólico e nervoso do hospedeiro (BLASER, 2014; MAYER; TILLISCH; GUPTA, 2015). A exposição a estímulos ambientais adversos, como o estresse psicossocial ou físico, pode afetar significativamente a microbiota intestinal ao diminuir a taxa colônica saudável como, por exemplo, de *Lactobacillus spp.*, enquanto aumenta a colonização de patógenos oportunistas (BAILEY; COE, 1999; TANNOCK; SAVAGE, 1974).

O conceito de probiótico surgiu no início do século XX por Elie Metchnikoff. (JANKOVIC et al., 2010). Em 1965 Lilly e Stillwell descreveram os efeitos benéficos dos microrganismos probióticos (LILLY; STILLWELL, 1965). Consequentemente, esse termo foi expandido e definido como uma preparação ou um produto contendo microrganismos viáveis e em números suficientes, que alteram a colonização da microbiota do hospedeiro e proporcionando benefícios à saúde (SCHREZENMEIR; DE VRESE, 2001).

Posteriormente, o termo probiótico foi definido por um Comitê Internacional como microrganismos vivos que quando administrados em quantidade adequada,

conferem um efeito benéfico ao hospedeiro, melhorando o equilíbrio microbiano intestinal (FAO / WHO, 2001).

A ANVISA reconhece os seguintes microrganismos probióticos: *Lactobacillus acidophilus*, *L. casei* Shirota, *L. casei* variedade *ramnosus*, *L. casei* variedade *defensis*, *L. paracasei*, *Lactococcus lactis*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium animalis* (incluindo a subespécie *B. lactis*), *Bifidobacterium longum* e *Enterococcus faecium* (BRASIL, 2008).

Desses, os microrganismos mais usados na indústria de alimentos pertencem aos gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*. Lactobacilo é um dos mais estudados, por apresentar resistência ao pH baixo, possuir parede celular mais espessa, serem anaeróbios facultativos e tecnologicamente adequado para aplicações alimentares (LEE; SALMINEN, 1995; TRIPATHI; GIRI, 2014).

Em alimentos, são vários os fatores que influenciam a viabilidade dos microrganismos probióticos como: pH, acidez titulável, o nível de oxigênio dissolvido, aromatizantes artificiais, agentes de coloração, parâmetros de processamento (tratamento térmico, temperatura de incubação, materiais de embalagem e os métodos de armazenamento), e microbiológicos (cepa utilizada e concentração do inóculo) (TRIPATHI; GIRI, 2014).

O prebiótico, como o FOS que está presente no yacon, fornece o substrato específico para o probiótico, como a nutrição e proteção. Assegurando assim, a sobrevivência das bactérias probióticas durante a passagem do trato gastrointestinal em um número suficiente para modular a função metabólica (MARKOWIAK; SLIZEWSKA, 2017).

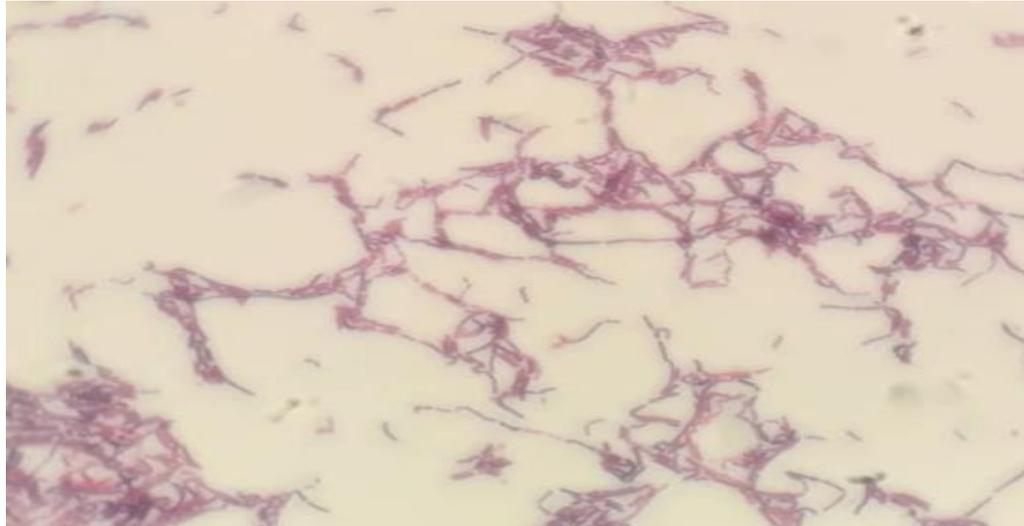
*L. acidophilus* é um dos microrganismos probióticos mais estudados (ASHRAFUZZAMAN et al., 2015), pois são mais tolerantes às condições ácidas do que as bifidobactérias (MOHAMMDI et al., 2011).

Foi isolado pela primeira vez por Moro em 1900 a partir das fezes de lactantes e chamados primeiramente de *Bacillus acidophilus* (designação genérica dos lactobacilos intestinais) (GOMES; MALCATA, 1999).

*L. acidophilus* (Figura 2) é uma das espécies mais conhecidas do gênero *Lactobacillus*, devido à sua utilização em alimentos em todo mundo. São bactérias em forma de bacilos, anaeróbios facultativos e homofermentadores, com extremidades arredondadas. Possuem temperatura ótima de crescimento a 45°C e

são exigentes quanto à presença de substratos orgânicos, tais como carboidratos, nucleotídeos, aminoácidos e vitaminas (SILVA et al., 2014).

**Figura 2:** Coloração de Gram do *Lactobacillus acidophilus* LAFTI L10 (aumento 1000x).



Fonte: Autoria própria (2020).

As bactérias lácticas podem atuar como probióticos quando adicionadas a alimentos em concentrações apropriadas. São capazes de sobreviver à passagem pelo trato gastrointestinal, onde aderem às células intestinais e promovem o equilíbrio intestinal (OLIVEIRA et al., 2010).

*L. acidophilus* tem efeito anti-carcinogênico contra o desenvolvimento do câncer de cólon (BALDWIN et al., 2010; LEE, 2000). Estudos mostraram que *L. acidophilus* microencapsulado, quando ingeridos reduz a incidência do câncer cólon, através da redução do tamanho dos tumores e proliferação celular (KIM et al., 2012).

A sua utilização em alimentos tem sido bastante importante para saúde. Um estudo experimental realizado por Almeida et al. (2015), administraram por via oral, extrato aquoso de yacon e *L. acidophilus* diariamente por oito meses em ratos Wistar. Tanto o grupo que recebeu apenas extrato aquoso de yacon (2,2ml) e o grupo que recebeu somente o microrganismo ( $10^9$  UFC/ mL em 3 mL kg de peso

corporal) obtiveram efeito protetor contra a carcinogênese do cólon intestinal nas fases iniciais do desenvolvimento do tumor.

Extratos de yacon e soja foram usados como matéria-prima para produzir uma bebida simbiótica, com adição de *B. animalis subsp. lactis* à mistura. Foi realizado um estudo randomizado, duplo-cego, controlado por placebo com vinte e nove voluntários (com mais de 65 anos de idade) que tiveram ingestão diária de 150 mL de simbiótico durante oito semanas. O resultado evidenciou que o consumo de bebidas simbióticas contendo ingredientes funcionais (soja e yacon como fonte prebiótica natural), além de seu valor nutricional inerente melhorou a saúde intestinal com o aumento dos níveis de poliaminas das fezes, que são frequentemente reduzidas na população idosa (MANZONI et al., 2017).

O encapsulamento é uma das abordagens para garantir a viabilidade probiótica. Esta tecnologia pode ajudar a proteger a viabilidade e funcionalidade das células durante o processamento, armazenamento e fornece entrega direcionada ao longo do trato gastrointestinal humano (DE VOS et al., 2010).

Uma alternativa para aumentar a viabilidade de probióticos em produtos alimentícios, é o enriquecimento com prebióticos e microencapsulação dos mesmos (CHAMPAGNE; GARDNER, 2005; HE Z et al., 2015).

Nunes et al. (2018), desenvolveram um pó encapsulado com microrganismo *L. acidophilus La-5* a partir de diferentes matrizes alimentares com características prebióticas, como: inulina, amido de milho e trealose. As amostras microencapsuladas com amido de milho obteve maior viabilidade ( $10^{11}$  UFC/mL), proporcionando maior proteção para *L. acidophilus* após simulação em condições gastrointestinais.

### 3.4 Microencapsulação

A tecnologia de microencapsulação é uma ferramenta baseada na formação de uma estrutura de proteção, abrange uma substância de interesse para proteção e liberação controlada (ALVIM et al., 2016).

Teve início no ano de 1950, com a patente de Green e Schleicher relativa à produção de cápsulas (GHOSH, 2006; GREEN, 1956). Essa tecnologia tem como

base uma criação de uma barreira (matriz) entre a substância de interesse (substância ativa) e o ambiente (alimentos) (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Na área de alimentos, a técnica é empregada visando à proteção de compostos instáveis presentes em diversos produtos. Essa tecnologia propicia, assim, uma barreira entre o composto ativo e o meio, promovendo a estabilidade da substância bioativa, uma vez que reduz o processo de degradação, mantendo sua propriedade funcional, bem como aumentando a sua biodisponibilidade (PAULO; SANTOS, 2017; SHAHIDI et al., 1993; FANG; BHANDARI, 2010).

O processo reveste pequenas partículas líquidas, sólidas ou gasosas (LIU; XU; WANG, 2012; CHRANIOTI et al., 2014; DOMIAN et al., 2015) ou de incorporação destas partículas em uma matriz homogênea ou heterogênea (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018).

A microencapsulação é um processo que permite a proteção de substâncias encapsuladas sensíveis, contra as condições de agentes externos, como a presença de luz, calor, umidade, radiação e oxigênio (SAÉNZ et al., 2009; GONÇALVES; ESTEVINHO, 2016), além de permitir a liberação controlada dessas substâncias aprisionadas (BANSODE et al., 2010; BYUN et al., 2010). A liberação do material contido nas microcápsulas é através de estímulos causados por vários fatores, como pH, temperatura, pressão e difusão (AZEREDO, 2005).

As microcápsulas são formadas por uma camada externa, denominada parede e por um núcleo, que está presente o material encapsulado que pode ser denominado de fase interna (UMER et al., 2011; DUBEY et al., 2009).

As microcápsulas possuem diferentes morfologias, dependendo da técnica empregada no processo de microencapsulação, bem como, do tipo de material de revestimento e do núcleo (VILA et al., 2015; JYOTHI; UMER et al., 2011, FANG; BHANDARI, 2010; DUBEY et al., 2009).

O material da parede deve possuir alta estabilidade, emulsificação e proteção, evitando assim a separação do material do núcleo durante secagem por pulverização. Geralmente, os materiais de parede usados para microencapsulação são gomas, polissacarídeos, proteínas e suas misturas (DAVIDOV-PARDO; AROZARENA, MARÍN-ARROYO, 2013).

Todavia, a escolha do material de revestimento apropriado é fundamental para garantir a liberação segura e controlada do material do núcleo, bem como a proteção eficaz da substância encapsulada (BORA et al., 2018).

Dentre as características a serem consideradas na escolha do material de parede está o custo, a capacidade de formar filmes, a higroscopicidade, o teor de sólidos, a viscosidade e a biodegradabilidade (MADENE et al., 2006; BORA et al., 2018). Além disso, a característica físico-química da microcápsula dependerá do tipo de material de revestimento utilizado no processo (MAHDAVI et al., 2016).

A microencapsulação de bactérias probióticas leva à proteção celular contra condições desfavoráveis na matriz alimentar e ao longo do trato gastrointestinal (WÜRTH et al., 2015). As tecnologias de microencapsulação permitem o desenvolvimento de produtos probióticos mais estáveis com a preservação da viabilidade dos microrganismos durante o processamento, distribuição, armazenamento e, especialmente, durante o processo digestivo (AMINE et al., 2014).

A cápsula deve ser capaz de fornecer uma boa proteção contra o ácido clorídrico, responsável por causar danos às células probióticas. O material de parede não deve apresentar atividades citotóxica e antimicrobiana e, portanto, não pode comprometer a viabilidade da cultura probiótica (CHOQUE et al., 2012). Esses materiais devem promover condições adequadas para a sobrevivência dos microrganismos, aumentando sua estabilidade durante o armazenamento (SALAR-BEHZADI et al., 2013).

A técnica consiste na formação de uma suspensão contendo microrganismos e agentes de revestimento (material de parede), que é pulverizada com ar quente ou nitrogênio (ENCINA et al., 2016). Esse processo é favorável em termos de custos operacionais, bom rendimento no processo e é frequentemente utilizado para encapsulação probiótica (PINTO et al., 2015).

### 3.5 Secagem por Atomização (*Spray drying*)

A secagem por atomização é uma operação comum da unidade para converter materiais líquidos em pó, inventado por Samuel R. Percy e tem sido usado

por quase 150 anos desde 1872. É muito utilizada em produtos químicos, alimentícios e produtos farmacêuticos (CAO et al., 2000).

Em alimentos, a atomização é um dos métodos comuns usados devido ao processo rápido e econômico. Apresenta baixo teor de umidade, atividade da água (Aw), higroscopicidade e estabilidade dos compostos bioativos (TONTUL, TOPUZ, 2017). Assim, o pó constituído possui propriedades desejáveis para facilitar o transporte, armazenamento e aplicação em alimentos (DESAI; HYN-JIN, 2005; GARDINER et al., 2000; LIAN et al., 2002).

Uma das vantagens de utilizar nos alimentos contendo probióticos é o aumento da sobrevivência dos microrganismos durante o processamento e armazenamento. Protegendo-os contra exposição às condições gastrointestinais adversas (KENT; DOHERTY, 2014; SUNNY-ROBERTS; KNORR, 2009), porque o processo envolve as células bacterianas em um revestimento protetor externo, além de proteção durante o armazenamento no congelamento (ANAL; SINGH, 2007).

As partículas resultantes desse método contêm o núcleo, que é a substância encapsulada, dentro de uma matriz polimérica, material de parede, e essas partículas apresentam uma distribuição restrita em um curto período de tempo (SINGH; VAN DEN MOOTER, 2016). Assim, as partículas são facilmente reconstituídas, sendo bastante interessante para aplicações em alimentos líquidos e pastosos, bem como em pós-instantâneos (SOUZA et al., 2018).

O processo de secagem por atomização consiste em três etapas sequenciais: a atomização da amostra do alimento em suspensão, a secagem de gotículas líquidas e a recuperação do pó (SHISHIR; CHEN, 2017). A princípio, a suspensão é pulverizada dentro da câmara de secagem, as gotículas entram em contato com uma corrente controlada de ar quente que promove a evaporação de líquidos, obtendo-se o material seco, finalizando o processo com a recuperação do produto em forma de pó (SINGH; VAN DEN MOOTER, 2016). As propriedades do produto final dependem do desempenho e do *design* do atomizador, os fatores considerados importantes para a secagem por atomização são: a temperatura de secagem, a taxa de fluxo do ar de secagem, a taxa de fluxo de alimentação, a

velocidade do atomizador e a concentração do agente encapsulante (MURALI et al., 2015; PHISUT, 2012).

As propriedades do pó, como a umidade, densidade e estabilidade dos compostos bioativos, está intimamente relacionada ao tamanho e a morfologia das partículas do pó durante a secagem (TONTUL; TOPUZ, 2017). Além disso, fatores incluindo material de parede, condições de secagem e temperaturas de entrada e saída, vazão, tipo de atomizador, todos podem afetar a microestrutura das cápsulas produzidas (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010; SHISHIR; CHEN, 2017).

A escolha do agente encapsulante que participará do processo de secagem não é considerada menos importante que os demais fatores. O teor de umidade, a densidade e o tamanho do pó são significativamente afetados pelo agente encapsulante (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008). O teor de umidade é um dos fatores de maior importância do pó, pois se mostra diretamente relacionado com a estabilidade durante seu acondicionamento e armazenamento (ŞAHIN-NADEEM et al., 2013; SINIJA; MISHRA, 2008).

A temperatura de entrada e a concentração do agente encapsulante são parâmetros importantes para a secagem por atomização (SHISHIR; CHEN, 2017), pois influenciam na umidade final do produto, na morfologia, no tamanho das partículas e no rendimento do processo. Assim, se faz necessário desenvolver estudos para melhor defini-los, para obter o produto final de secagem com características desejáveis (VEHRING, 2008; KEMP et al., 2016; SOSNIK; SEREMETA, 2015).

### 3.6 Agente Encapsulante

Os agentes encapsulantes têm um papel crucial no processo de encapsulação (FANG, BHANDARI 2010; ÖZKAN, BILEK, 2014), pois a natureza dos agentes é considerada um dos principais fatores que influenciam a estabilidade dos compostos encapsulados (ROSENBERG et al., 1990).

Os agentes encapsulantes são formadores de filmes protetores, tem como principais características desejáveis propiciar baixa higroscopicidade, baixa viscosidade, baixa umidade, capacidade de emulsificar e estabilizar o material do

núcleo, baixa reatividade, máxima proteção contra luz, pH e oxigênio, ausência de sabor e odor desagradáveis e baixo custo (CANO-HIGUITA et al., 2015). Além disso, a microencapsulação também tem a capacidade de mascarar o odor inaceitável e melhorar as propriedades de solubilidade e manuseio do produto (BAKRY et al., 2016).

Podem ser utilizados polímeros sintéticos ou naturais, dependendo do material a ser encapsulado e das características finais desejadas das microcápsulas (SHAHIDI; HAN, 1993). Devem ser considerados também a toxicidade, eficiência do encapsulamento, estabilidade, grau de proteção do núcleo e propriedades microscópicas da superfície (BORA et al., 2018).

O agente encapsulante à base de hidrocolóides como maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) são usualmente utilizados. O estudo realizado por Tontul e Topuz (2017) utilizou a MD e GA para microencapsulação por atomização de sucos de frutas e vegetais, obtiveram resultados satisfatórios na redução da viscosidade e higroscopicidade do microencapsulado.

### 3.6.1 Goma Arábica e Maldodextrina

A Goma Arábica é um composto natural de proteínas e polissacarídeos, é muito utilizado como material de secagem por pulverização. Sua estrutura contém um grande grupo com alta ramificação de polissacarídeo (97%) constituído por uma espinha dorsal de unidades de galactose com ramos ligados de arabinose e ramnose. O segundo grupo é um complexo de arabinogalactano-proteína (<3%) de maior peso molecular (MONTENEGRO et al., 2012; TONTUL, TOPUZ, 2017).

É considerada como um dos agentes encapsulantes mais importantes, pois é um polímero natural de baixa viscosidade, solubilidade adequada, boa capacidade emulsificante em soluções aquosas, é atóxica, inodora, insípida e tem sido utilizada no encapsulamento de alimentos por muitos anos, no entanto tem baixa disponibilidade e elevado custo, quando comparado a outros agentes encapsulantes (CHRANIOTI; TZIA, 2015; ESTEVINHO et al., 2013; GHARSALLAOUI, 2007).

As maltodextrinas são polissacarídeos de alto peso molecular, produzido por hidrólise do amido. São carboidratos que podem contribuir para aumentar a estabilidade das bactérias secas por pulverização em termos de atividade da água, teor de umidade, pH, solubilidade, higroscopicidade, composição nutricional, temperatura de transição vítrea, cor e fluidez (SOSA, et al., 2016).

É um dos materiais de parede mais usados em microencapsulação de *spray dryer*, devido ao seu custo relativamente baixo e à rápida propriedade de reconstituição. São materiais solúveis em água, protege o ingrediente encapsulado da oxidação, têm baixa viscosidade, elevado teor de sólidos e estão disponíveis em diferentes pesos moleculares, o que fornece diferentes densidades de parede ao redor dos materiais de recheio sensíveis (SHAHIDI, HAN, 1993; BORA et al., 2018),

As maltodextrinas são amidos hidrolisados do trigo, batata e milho, com diferentes graus de equivalência de dextrose. As maltodextrinas com equivalência de dextrose de 10 a 20 são muito utilizadas porque são muito solúveis em água, tem baixa viscosidade, não tem sabor aparente, é facilmente biodegradável e fornece um bom encapsulamento com baixo custo (FERNANDES et al., 2013; ÖZKAN; BILEK, 2014).

A eficácia da maltodextrina como agente encapsulante de extratos vegetais contendo compostos bioativos, como compostos fenólicos é demonstrada em diversos estudos (NUNES et al., 2015; SANTOS et al., 2017).

Um estudo realizado por Tengse et al. (2017) utilizaram maltodextrina como agente encapsulante no processo de atomização de extrato de chá verde, como resultado obtiveram as microcápsulas com alto teor de polifenóis e elevada atividade antioxidante, 72,91% de polifenóis livres e 57,81mg/g de matéria, expressa como equivalente de ácido gálico, com 0,92 de conveniência. SANTOS et al. (2017), ao microencapsular do suco de amora-preta (*Rubus fruticosus*) com a maltodextrina observou a eficácia na proteção dos compostos fenólicos e das antocianinas, durante o tempo de armazenamento estudado de 36 dias.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J., COSTA, R., ROCHA, F., ESTEVINHO, B. N., SANTOS, L. Design of microparticles containing natural antioxidants: Preparation, characterization and controlled release studies. **Powder Technology**, v,313,p. 287-292, 2017.

AIZPURUA-OLAIZOLA, O.; NAVARRO, P.; VALLEJO, A.; OLIVARES, M.; ETXEBARRIA, N.; USOBIAGA, A. Microencapsulation and storage stability of polyphenols from *Vitisvinifera* grape wastes. **Food Chemistry**, v. 190, p. 614-621, 2016.

ALMEIDA, P. S; MARTINS, C. M. A.; BARBISAN, L. F.; MOURA, N.A., CAETANO, B.R. F.; ROMUALDO, G.U.; SIVIERI, K. Almeida, Ana Paula de et al. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and *Lactobacillus acidophilus* CRL 1014 reduce the early phases of colon carcinogenesis in male Wistar rats. **Food Research International**, v. 74; p. 48–54, 2015.

AL-SHERAJI, S. H.; ISMAIL, A.; MANAP, M. Y.; MUSTAFA, S.; YUSOF, R. M.; HASSAN, F. A. Prebiotics as functional foods. **A review. Journal of functional foods**, v.5, p.1542-1553, 2013.

ALVIM, I.D.; STEIN, M.A.; KOURY, I.P.; DANTAS, F.B.H; CRUZ, C.L.D.C.V. Comparison between the spray drying and spray chilling microparticles contain ascorbic acid in a baked product application. **Food Science and Technology** . v.65, p.689–694, 2016.

AMINE, K. M., CHAMPAGNE, C. P., SALMIERI, S., BRITTEN, M., ST-GELAIS, D., FUSTIER, P. Effect of palmitoylated alginate microencapsulation on viability of *Bifidobacterium longum* during freeze-drying, **Food Science and Technology**, v.56, p.111– 117, 2014.

ANAL, A.K., SINGH, H. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. **Trends Food Sci. Technol.** v.18, n. 5,p. 240–251, 2007.

ARION, W. J.; CANFIELD, W. K.; RAMOS, F. C.; SU, M. L.; BURGER, H. J.; HEMMERLE H. Chlorogenic acid analogue S 3483: a potent competitive inhibitor of the hepatic and renal glucose-6-phosphatase systems. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.351,p. 279–285,1998.

ASHRAFUZZAMAN, M.D., MOMTAZ, F., FOYZAL, M.D.J., ALI,M,D.H.,RAHMAN, M.D.M. Optimization of probiotic activity of *Lactobacillus acidophilus* characterized from commercial yoghurt. **International Journal of Biosciences**. v.7, n.5, p.94-95, 2015.

AZEREDO, H. Encapsulação: Aplicação à Tecnologia de Alimentos. Alimentos e Nutrição Araraquara, 2005.

BALDWIN, C., MILLETE, M., OTH, D., RUIZ, M.T., LUQUET, F.M., LACROIX, M. Probiotic *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei* mix sensitive colorectal tumoral cells to 5-fluorouracil-induced apoptosis. **Nutrition and Cancer**, v.62,p. 371–378, 2010.

BAILEY, M.T.; COE, C.L. Maternal separation disrupts the integrity of the intestinal microflora in infant rhesus monkeys. **Developmental Psychobiology**.v.35, p. 35:146–55, 1999.

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.

BAKRY, A. M., FANG, Z., Ni, Y., CHENG, H., CHEN, Y. Q., LIANG, L. Stability of tuna oil and tuna oil/peppermint oil blend microencapsulated using whey protein isolate in combination with carboxymethyl cellulose or pullulan. **Food Hydrocolloids**. v.60, p.559-571, 2016.

BORA, A.F.M.; MA, S.; LI, X.; LIU, L. Application of microencapsulation for the safe delivery of green tea polyphenols in food systems: Review and recent advances. **Food Research International**, v. 105, p. 241-249, 2018.

BLASER, M.J. The microbiome revolution. **Journal of Clinical Investigation**.v.124, p.4162-4165, 2014.

BRANDÃO, CC, ASQUIERI, ER, DAMIANI, C. Bebida fermentada de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): parâmetros do processo fermentativo. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 10 n. 1, p. 32, 2019.

BRASIL, AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Aprova o regulamento técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos. Resolução n. 18, de 3 de dezembro de 1999.

Disponível

em: [http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RES\\_18\\_1999\\_COMP.pdf/dd30fd35-e7ea-4f8d-be72-ae2e439191b0](http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RES_18_1999_COMP.pdf/dd30fd35-e7ea-4f8d-be72-ae2e439191b0)

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Alimentos com alegações de propriedades funcionais e ou de saúde, novos alimentos/ingredientes, substâncias bioativas e probióticos**: lista de alegações de propriedade funcional aprovadas. Brasília: Ministério da Saúde, 2008. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno\\_lista\\_alega.htm](http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno_lista_alega.htm)>

[ [Links](#) ].

BYUN, Y., KIM, Y. T., DESAI, K. G. H., PARK, H. J. Microencapsulation techniques for food flavour. In A. Herrmann (Ed.), **The chemistry and biology of volatiles**. p. 307-332, 2010

CAETANO, B. F. R., MOURA, N. A., ALMEIDA, A. P. S., DIAS, M. C., SIVIERI, K., BARBISAN, L. F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a food supplement: health-promoting benefits of fructooligosaccharides. **Nutrients**, v. 8, n.7, p.436, 2016.

CAMPOS, D., BETALLELUZ-PALLARDEL, I., CHIRINOS, R., AGUILAR-GALVEZ, A., NORATTO, G., PEDRESCHO. Prebiotic effects of yacon ( *Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. **Food Chemistry**,v. 135, p.1592–1599, 2012.

CANO-HIGUITA, D. M., VÉLEZ, H. A. V., TELIS, V. R. N. Microencapsulation of turmeric oleoresin in binary and ternary blend of gum arabic, maltodextrin and modified starch. **Ciência E Agrotecnologia**, v.39, n.2, p.173–182. 2015.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542015000200009>

CAO, X.Q., VASSEN, R., SCHWARTTZ S., W. JUNGEN, F. TIETZ, D. STOVER, Spray-drying of ceramics for plasma-spray coating, **Journal of the European Ceramic Society**. v.20, p.2433–2439, 2000.

[https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(00\)00112-6](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(00)00112-6)

CHOQUE-G.T., DELGADO, TAMASHIRO, W.M.S.C. , PASTORE, G.M., THOMÉ, R., GABRIEL, D. L. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*)-derived fructooligosaccharides improves the immune parameters in the mouse. **Nutrition Research**, v. 32, n.11,p. 884–892,2012. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2012.09.012>.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.026>

CHAMPAGNE, C.P.; GARDNER, N.J. Challenges in the addition of probiotic cultures to foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v.45, p.61–84, 2005.

CHRANIOTI, C.; NIKOLOUDAKI, A.; TZIA, C. Saffron and beetroot extracts encapsulated in maltodextrin, gum Arabic, modified starch and chitosan: Incorporation in a chewing gum system. **Carbohydrate Polymers**, v. 127, p. 252–263, 2015.

CHRANIOTI, C., TZIA, C. Arabic gum mixtures as encapsulating agents of freeze-dried fennel oleoresin products. **Food Bioprocess Technology**. v.7, n. 2, p.1057–1065, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-013-1074-z>

DAVIDOV-PRDO, G., AROZARENA, I., MARÍN-ARROYO, M.R., Optimization of a wall material formulation to microencapsulate a grape seed extract using a mixture design of experiments, **Food Bioprocess Tech.** v.6, p. 941-51, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0848-z>.

DE ANDRADE, W.F.; DE SOUZA, A.; LEONE, R.; ELLENDERSEN, L.N.; MASSON, M.L. Phenolic profile and antioxidant activity of extracts of leaves and flowers of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Industrial Crops and Products**. v.62, p.499–506, 2014.

DELGADO-AMAYA, L.; HERRERA-LÓPEZ, E.J.; ARRIZON, J.; ARELLANO-PLAZA, M.; GSCHAEDLER, A. Performance evaluation of *Pichia kluyveri*, *Kluyveromyces marxianus* and *Saccharomyces cerevisiae* in industrial tequila fermentation. **World Journal Microbiology Biotechnology**, v.29, n.5, p.875-81, 2013.

DESAI, K.G.H., HYUN-JIN, P., 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technol.** V.23, n.7, p.1361–1394, 2005.

LIAN, W.C., HSIAO, H.C., CHOU, C.C., Survival of bifidobacteria after spray-drying. **Int. J. Food Microbiol.** v. 74, n. 1–2, p.79–86, 2002.

DE VOS, P., FAAS, M., SPASOJEVIC, M., SIKKEMA J. Encapsulation for preservation of 324 functionality and targeted delivery of bioactive food components. **International Dairy Journal**, v.20, n.4, p. 292-302, 2010.

DIONISIO, A., SILVA, B., VIEIRA, C., GOES, C., WUELITZER, A., BORGES, A., BRITO, A., LONTA, B., FIGUEIREDO, C. Cashew-apple (*Anacardium occidentale* L.) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) functional beverage improve the diabetic state in rats. **Food Research International**. v.14, p.3, 2015.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.020> 0963-9969

DOMIAN, E.; BRYNDA-KOPYTOWSKA, A.; OLEKSZA, K. Rheological properties and physical stability of o/w emulsions stabilized by OSA starch with trehalose. **Food Hydrocolloids**, v. 44, p. 49–58, 2015.

DUBE, A.; NG, K.; NICOLAZZO, J.A.; LARSON, I. Effective use of reducing agents and nanoparticle encapsulation in stabilizing catechins in alkaline solution. **Food Chemistry**, v. 122, p. 662–667, 2010.

DUBEY, R.; SHAMI, T.C.; BHASKER R.K.U. Microencapsulation technology and applications. **Defence Science Journal**, v. 59, n. 1, p. 82-95, 2009.

DWIVEDI, S., SAHRAWAT, K., N. PUPPALA, R. Ortiz, Plant prebiotic and human health: biotechnology to breed prebiotic-rich nutritious food crops, **Electronic Journal of Biotechnology**. v.17, p.38245, 2014.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejbt.2014.07.004>

ENCINA, C., VERGARA, C., GIMÉNEZ, B., OYARZÚN-AMPUERO, F., ROBERT, P. Conventional spray-drying and future trends for the microencapsulation of fish oil. **Trends in Food Science & Technology**, v.56, p. 46–60, 2016.

ESTEVINHO, B.N., 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. doi:10.1016/j.tifs.2013.04.001.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Encapsulation of polyphenols - a review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 21n. 10, p. 510-523, 2010.

FAO/WHO. Food and Agricultural Organization of the United Nations / World Health Organization. Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria, 2001.

FERNÁNDEZ, E., RAJCHL, A., LACHMAN, J., H., ČÍŽKOVÁ, F. KVASNIČKÁ, K.A., KOTÍKOVÁ, Z., MILELLA, L., M. Voldřich, Impact of yacon landraces cultivated in the Czech Republic and their ploidy on the short- and long chain fructooligosaccharides content in tuberous roots. **Food Science and Technology**. v.54, p.8086, 2013.

FRANCO, D., ANTEQUERA, T., PINHO, S. C., JIMÉNEZ, E., PÉREZ-PALACIOS, T., FÁVARO-TRINDADE, C. S., LORENZO, J. M. The use of microencapsulation by

spray-drying and its application in meat products. **Strategies for Obtaining Healthier Foods**. p. 333-362, 2017.

GARDINER, G.E., O'SULLIVAN, E., KELLY, J., AUTY M.A.E., FITZGERALD, G.F., COLLINS, J.K., ROSS, R.P., STATION, C., Comparative survival rates of humanderived probiotic *Lactobacillus paracasei* and *L. salivarius* strains during heat treatment and spray drying. **Appl. Environ. Microbiol.**v. 66,n.6,p. 2605–2612, 2000.

GENTA, S.; CABRERA, W.; HABIB, N.; PONS, J.; CARILLO, I.M.; GRAU A. Yacon syrup: Beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. **Clinical Nutrition**, v.28,p. 182–187,2009.

GHARSALLAOUI, A., ROUDAUT, G., CHAMBIN, O., A. VOILLEY, A., SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International** v.40, p. 1107–1121, 2007. doi:10.1016/j.foodres.2007.07.004.

GHOSH, S.K. Functional Coatings and Microencapsulation: A General Perspective, first ed., Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH and CO KGaA, 2006.

GIBSON, G.R., ROBERFROID, M.B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, v.125, n.6, p. 1401-1412, 1995.

GIBSON,G.R.,HUTKINS, R., SANDERS, M.E. , PRESCOTT, S.L., REIMER, R.A. , SALMINEN, S.J. , .Expert consensus document: the International scientific association for probiotics and prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology** , v.14, n.8, p. 491, 2017.

GOMES, A. M. P.; MALCATA, F. X. Agentes probióticos em alimentos: aspectos fisiológicos e terapêuticos, e aplicações tecnológicas. *Boletim de Biotecnologia*, p.12-22,1999.

GONÇALVES, A.; ESTEVINHO, B.N.; ROCHA, F. Microencapsulation of vitamin A: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 51, p. 76-87, 2016.

GOTO, K. FUKAJ, J. HIKIDA, F. NANJO, Y. Haralsolation and structural analysis of oligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*) **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**. v.59, p. 2346-2347,1995.

GRAU, A.; REA, J. Yacon.*Smallanthus sonchifolius* (Poep.&Endl.)H.Robinson. In: HERMANN, M.; HELLER, J. (Eds.).**Andean roots and tubers: ahipa, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of.Underutilized and neglected crops**.(Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research).Gatersieben/International Plant Genetic Resources Institute.Rome, Italy, p.199- 242, 1997.

GREEN, B. K. Manifold record material, 1956.

HACHIMURA, S. , TOTSUK, M. a, A. Hosono.Immunomodulation by food: impact on gut immunity and immune cell function **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**. v. 82, n.4, p. 584-599, 2018.

HONOR'E. M.; GENTA, S. B.;SANCHEZ, S. S. "Smallanthus sonchifolius (yacon) leaves: an emerging source of compounds for diabetes management," **Journal of Research in Biology**, vol. 5, no. 5, pp. 21–42, 2015.

HE, Z., WANG, X., LI, G., ZHAO, Y; ZHANG, J., NIU, C. Antioxidant activity of prebiotic ginseng polysaccharides combined with potential probiotic *Lactobacillus plantarum* C88. **International Journal of Food Science & Technology** v.50, p.1673–1682, 2015.

HERLING, A. W., BURGER, H. J., SCHWAB, D., HEMMERLE, H., BELOW, P., SCHUBERT, G.. Pharmacodynamic profile of a novel inhibitor of the hepatic glucose-6-phosphatase system. **American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology**, v.274,p.1087–1093,1998.

JANKOVIC, I., SYBESMA, W., PHOTHIRATH, P., ANANTA, E., MERCENIER, A. Application of probiotics in food products—challenges and new approaches. **Current Opinion in Biotechnology**, v.21, n.2, p.175–181, 2010.

JIMÉNEZ, M. E., SAMMÁN, N. Caracterización química y cuantificación de fructooligosacáridos, compuestos fenólicos y actividad antirradical de tubérculos y raíces andinos cultivados en el noroeste de Argentina. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.64, p.131–138, 2014.

KEMP, I.C.; HARTWIG, T.; HAMILTON, P.; WADLEY, R.; BISTEN, A. Production of fine lactose particles from organic solvent in laboratory and commercial-scale spray dryers. **Drying Technology**, v. 34, p. 830–842, 2016.

KENT, R.M., DOHERTY, S.B., Probiotic bacteria in infant formula and follow-up formula: Microencapsulation using milk and pea proteins to improve microbiological quality. **Food Research International**. v.64,p. 567–576, 2014.

KIM,S.J.,D.; GHANG,C.H.; YOON, Y.H.; CHO, H.M. ,J. Ch.Jeon,Domestic and overseas status and future trends of yacon production, KoreanSoc.**Internatinal Agriculture**.v.24, p.417–424, 2012.

KRISHNA, S. A.; JYOTHIKA, M. A Review on Microcapsules. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 4, n. 2, 2015.

KUMAR, H., SALMINEN, S., VERHAGEN, H., ROWLAND, I., HEIMBACH, J., BANARES, S., YOUNG, T., NOMOTO, K., LALONDE, M. Novel probiotics and prebiotics: road to the market. **Current Opinion in Biotechnology**, v.32, p.99-103, 2015.

LAVIE, C.J., LADDU, D., ARENA, R., ORTEGA, F.B., ALPERT, M.A., KUSHNER, R.F., Reprint of: healthy weight and obesity prevention: JACC health promotion series. **Journal of the American College of Cardiology**. v.72, p.3027–3052, 2018.

LEE, Y. K.; SALMINEN, S. The coming of age of probiotics. Trends in Food **Science & Technology**, v.6, n.7, p.241–245, 1995.

LEE, S.M., LEE, W.K.. Inhibitory effects of Lactic Acid Bacteria (LAB) on the azoxymethane induced colonic pre neoplastic lesions. **The Journal of Microbiology**, v.169, p.175,2000.

LILLY, D.M, STILLWELL, I R.H. Probiotics. Growth promoting factors produced by micro-organisms. **Science**, v.147, p.747–748, 1965.

LIU, K.; XU, Y.; WANG, X. Microencapsulation of sweet orange oil terpenes using the orifice method. **Journal of food engineering**, v. 110, n. 3, p. 390-394, 2012.

MACHADO, A. M.; DA SILVA, N. B. M.; CHAVES; J. B. P., ALFENAS, R. C. G. Consumption of yacon flour improves body composition and intestinal function in overweight adults: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. **Clinical Nutrition**. v.12, p. 82, 2018.

MADENE A.; JACQUOT, M.; SCHER, J.; DESOBRY, S.A. Flavour encapsulation and controlled release – **A review. International Journal of Food Science and Technology**, v.4, n. 1, p. 1-21, 2006.

MAHDAVI, S.A.; JAFARI, S.M.; ASSADPOOR, E.; DEHNAD, D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. **International journal of biological macromolecules**, v. 85, p. 379-385, 2016.

MANZONI, M. S. J.; ROSSI, E. A., PAULY-SILVEIRA, N. D., PINTO, R. A., ROSELINO, M. N., CARLOS, I. Z., ... CAVALLINI, D. C. U. Consumption effect of a synbiotic beverage made from soy and yacon extracts containing *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* BB-12 on the intestinal polyamine concentrations in elderly individuals. **Food Research International**, v.99,p. 495–500, 2017.

MONTENEGRO, M.A., BOIERO, M.L., VALLE, L., BORSARELLI C.D. Gum arabic: more than edible emulsifier. In: Verbeek, **Journal Citation Reports**. (Ed.), Products and Applications of Biopolymers. InTech, Rijeka, Croatia, p. 25, 2012.

MAROYI, A. Utilization of *Bridelia mollis* as herbal medicine, nutraceutical and functional food in southern Africa: a review. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v.18, n.1, p. 203-209, 2019.

MARKOWIAK,P., ŚLIZEWSKA, K. Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. **Nutrients**. v.9, p.1021, 2017.

MAYER, E.A.; TILLISCH, K.; GUPTA, A. Gut/brain axis and the microbiota. **Journal of Clinical Investigation**, v.125, p. 926-938. 2015.

MOHAMMADI, R., MORTAZAVIAN, A. M., KHOSROKHAVAR, R., Da CRUZ, A. G. Probiotic ice cream: Viability of probiotic bacteria and sensory properties. **Annals of Microbiology**, v.61,p. 411-424,2011.

MURALI, S.; KAR, A.; MOHAPATRA, D.; KALIA, P. Encapsulation of black carrot juice using spray and freeze drying. **Food Science and Technology International**, v. 21, p. 604-612, 2015.

NUNES,G.L.,ETCHEPARE,M.A.,CICHOSKI,A.J.,ZEPKA,L.Q.,LOPES,E.J.,BARIN,J. S.,.Inulin,himaizend trehalose as thermal protectants for increasing viability of Lactobacillus acidophilus encapsulated by spraydrying. **Food Science and Technology**. v.89,p.128–133, 2018.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P.R. Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, p. 641-650, 2010.

OLIVEIRA, L. F., CORREA, J. F. G., PEREIRA, M. C. a., RAMOS, A. L. S., VILELA, M. B. Dsmotic dehydration of yacon (Smallanthus sonchifolius): optimization for fructan retention. **LWT - Food Science and Technology**, v.71,p. 77-87, 2016.

OJANSIVU, I.; FERREIRA, C. L.; SALMINEN, S. Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history safe of use. **Trends in Food Science and Technology**, v.22, p.40-46., 2011.

ÖZKAN, G., BILEK, S.E., Microencapsulation of natural food colourants. **International Journal of Nutrition and Food Sciences**. v.3, n.3, p.145–156, 2014.

<http://dx.doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140303.13>

PAULO, F; SANTOS, L. Design of experiments for microencapsulation applications: A review. *Materials Science and Engineering: C*, v. 77, p. 1327-1340, 2017.

PARUSSOLO, G., BUSATTO, R. T., SCHMITT, J., PAULETTO, R., SCHONS, P. F., RIES, E. F. Synbiotic ice cream containing yacon flour and *Lactobacillus acidophilus* NCFM. *LWT – Food Science and Technology*, n.82,p. 192–198, 2017.

PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice powder: Some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal*, v. 19, p. 1297-1306, 2012.

PINTO, S. S., VERRUCK, S., VIEIRA, C. R., PRUDÊNCIO, E. S., AMANTE, E. R., AMBONI, R. D. Influence of microencapsulation with sweet whey and prebiotics on the survival of *Bifidobacterium*-BB-12 under simulated gastrointestinal conditions and heat treatments. *LWT-food Science and Technology*,v. 64, n.2, p.1004–1009,2015.

RAI, A.K., KUMARI,R., S. SANJUKTA, S., D., SAHOO, S. Production of bioactive protein hydrolysate using the yeasts isolated from soft chhurpi. *Bioresource Technology*. v.219,p. 239-245,2016.

RICARTE, D.Y., JÚLIO, B.L.A., ZOCATELI, G.A.F.F., BARRETO, R.L.F., GUIMARÃES, M., FERREIRA, R.S., GUIMARÃES, N. S. Análise sensorial de preparações com batata yacon: revisão sistemática. *HU Revista* , v.45, n.4, p.431-440, 2019.

RIVERA, G. , BOCANEGRA-GARCÍA, V., MONGE, A. Traditional plants as source of functional foods: a review Plantas tradicionales como fuente de alimentos funcionales: una revisión CyTA– *Journal of Food* , v. 8, n.2, p. 159-167, 2010.

REIG, A. L. C.; ANESTO, J. B. Prebióticos y probióticos, una relación beneficiosa. *Revista Cubana Alimento Nutricional*, v.16, 2002.

REZENDE, Y.R.R.S.; NOGUEIRA, J.P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. *Food chemistry*, v. 254, p. 281-291, 2018.

ROBERFROID, M.B., A European consensus of scientific concepts of functional foods, **Nutrition**, v.16, n. 7–8, p. 689-691, 2000.

ROSENBERG, M.; KOPELMAN, L.J.; TALMON, Y. Factors affecting retention in spraydrying microencapsulation of volatile materials. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.38, p.1288-1294, 1990.

RUSSO, D., VALENTÃO, P., ANDRADE, P. B., FERNANDEZ, E. C., MILELLA, L. Evaluation of antioxidant, antidiabetic and anticholinesterase activities of smallanthus sonchifolius landraces and correlation with their phytochemical profiles. **International Journal of Molecular Sciences**, v.16,n.8, p.17696–17718, 2015.

SAAD, N., DELATTRE, C., URDACI, M., SCHMITTER, J., BRESSOLLIER, P. An overview of the last 411 advances in probiotic and prebiotic field. **Food Science and Technology**, n.50, v.1, 1-16, 2013.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBER, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, p. 616–622, 2009.

SANTOS, S. S., RODRIGUES, L. M., COSTA, S. C., BERGAMASCO, R. D. C., MADRONA, G. S. Microcapsules of blackberry pomace (*Rubus fruticosus*): light and temperature stability. **Chemical Engineering Transactions**, v.57, p.1837–1842, 2017. <http://dx.doi.org/10.3303/CET1757307>

ŞAHIN-NADEEM, Hilal et al. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. **Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 31-38, 2013.

SALAR-BEHZADI, S., WU, S., TOEGEL, S., HOFRICHTER, M., ALTENGURGER, I., UNGEL, F. M. Impact of heat treatment and spray drying on cellular properties and culturability of *Bifidobacterium bifidum* BB-12. **Food Research International**, v.54, n. 1,p. 93–101, 2013.

SCHEREZENMEIR, J., DE VRESE M. Probiotics, prebiotics, and synbiotics—approaching a definition. **Am J Clin Nut.**, v..73,p.361S–364, 2001.

SHAHIDI, F.; HAN, X.Q. Encapsulation of food ingredients. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 33, n. 6, p. 501-547, 1993.

SHI, Q.; ZHENG, Y.; ZHAO, Y. Mathematical modeling on thin-layer heat pump drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices. **Energy Conversion and Management**, v.71,p.208-216, 2013.

SHISHIR, M.R.I.; CHEN, W. Trends of spray drying: a critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology**, p. 49-67. 2017.

SILVA, C. D. M., PIRES, C. R. F., LIMA, J. P., PEREIRA, A. S., SILVA, C. A. Desidratação osmótica para obtenção de cagaita passa. **Journal of bioenergy and food science**, v.2, n.4, 266-233, 2015.

SILVA,M.A., ALBUQUERQUE, T.G., ALVES, R.C., OLIVEIRA, M.B.P., COSTA, H.S. Melon (*Cucumis melo* L.) by-products: potential food ingredients for novel functional foods? **Trends in Food Science e Technology**, v. 98, pp. 181-189, 2020.

SILVA, D.M.N, OLIVEIRA, F.L., CAVATTE, P.C., AUGUSTO, M., QUARESMA, L., CHRISTO, B.F. Growth and development of yacon in different periods of planting and growing regions. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.40, p.1-9, 2018.

SILVA, M. F. G., DIONISIO, A. P., ABREU, F. A. P., BRITO, E. S., WURLITZER, N. J., SILVA, L. M. A. E., RIBEIRO, P. R. V., RODRIGUES, S., TANIGUCHI, C. A. K., PONTES, D. F. Optimization of enzymatic treatment to produce yacon juice clarified by microfiltration with high levels of chlorogenic acid and fructooligosaccharides. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.42, p.13641, 2018.

SINGH, A.; VAN DEN MOOTER, G. Spray drying formulation of amorphous solid dispersions. **Advanced drug delivery reviews**, v. 100, p. 27-50, 2016.

SINIJA, VR; MISHRA, HN Isotermas de sorção de umidade e calor de sorção de pó de chá verde (solúvel) instantâneo e grânulos de chá verde. **Journal of Food Engineering** , v. 86, n. 4, p. 494-500, 2008.

SIVIERI, K., MORALES, M.V., SAAD, S.M.I., ADORNO, M.A., SAKAMOTO, I.K., ROSSI, E.A. Prebiotic effect of fructooligosaccharide in the simulator of the human intestinal microbial ecosystem (SHIME model). **Journal of Medicinal Food**, v.17,p. 1–8, 2014.

SILVA, P. T.; FRIESI, L. L. M.; MENEZES, C. R.; SILVA, C. B.; SORIANI, H. H.; BASTOS, J. O.; MOTT, M. H.; RIBEIRO, R. F. Microencapsulação de probióticos por spray drying: avaliação da sobrevivência sob condições gastrointestinais simuladas e da viabilidade sob diferentes temperaturas de armazenamento. **Ciência Rural**, 2014.

SOUSA, S., PINTO, J., PEREIRA, C., MALCATA, F. X., PACHECO, M. T. B., GOMES, A. M., PINTADO, M. In vitro evaluation of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuber flour prebiotic potential. **Food and Bioproducts Processing**, v. 95, p. 96-105, 2015.

SOSA, N., GERBINO, E., GOLOWCZYC, M.A., SCHEBOR, C., GÓMEZ-ZAVALIA, A., TYMCZYSZYN, E.E. Effect of Galacto-Oligosaccharides: Maltodextrin Matrices on the Recovery of *Lactobacillus plantarum* after Spray-Drying. **Front Microbiogyl.** v.7, p.584, 2016. doi: 10.3389/fmicb.2016.00584

SOSNIK, A.; SEREMETA, K. P. Advantages and challenges of the spray-drying technology for the production of pure drug particles and drug-loaded polymeric carriers. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 223, p. 40–54, 2015.

SOUZA, A.L.R.; HIDALGO-CHÁVEZ, D.W.; PONTES, S.M; GOMES, F.S; CABRAL, L.M.C.; TONON, R.V. Microencapsulation by spray drying of a lycopene-rich tomato concentrate: **Characterization and stability**. **LWT**, v. 91, p. 286-292, 2018.

SUNNY-ROBERTS, E. O., KNORR, D. The protective effect of monosodium glutamate on survival of *Lactobacillus rhamnosus* GG and *Lactobacillus rhamnosus* E-97800 (E800) strains during spray-drying and storage in trehalose-containing powders. **International Dairy Journal**, v.19, p.209–214, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.10.008>

TANNOCK, G.W, SAVAGE, D.C. Influences of dietary and environmental stress on microbial populations in the murine gastrointestinal tract. **Infection and immunity**. v.9, p.591–59, 1974.

TECHNAVIO RESEARCH, Dairy Sector Driving Global Probiotic Market,2016.

Available at: <http://www.newhope.com/managing-your-business/dairy-sector-driving-global-probiotic-market-says-technavio>

TENGSE, D.D.; PRIYA, B.; KUMAR, P.; ARUN, R. Optimization for encapsulation of green tea (*Camellia sinensis* L.) extract by spray drying technology. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v. 11, p. 85–92, 2017.

DOI: [10.1007/s11694-016-9374-4](https://doi.org/10.1007/s11694-016-9374-4)

TOLULOPE, J. A., Immune boosting functional foods and their mechanisms: A critical evaluation of probiotics and prebiotics. **Biomedicine & Pharmacotherapy**. v.130, p. 110625, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110625>

TONTUL, I., TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying 766 conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science & Technology**, v.63, p.91-102, 2017. doi:10.1016/j.tifs.2017.03.009

TONON, R.V.; BRABET, C.; HUBINGER, M.D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, 88, 411-418, 2008.

TRIPATHI, M. K.; GIRI, S. K. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. **Journal of Functional Foods**, v. 9, p.225–241, 2014.

UMER, H.; NIGAM, H.; TAMBOLI, A.M.; NAINAR, M.S.M. Microencapsulation: Process, techniques and applications. **International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences**, v. 2, n. 2, p. 474-481, 2011.

UKEYIMA, M.T. , ENUJIUGHA, V.N. , SANNI, T.A. Current applications of probiotic foods in Africa. **African Journal of Biotechnology**. v.9, n. 4, 2010.

VASAVA,N., JANA N, Probiotics – Application in Dairy Sector, 2017.

Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/probiotics-application-dairy-sector-technology-india>

VILA, M.M.; CHAUD, M.V.; BALCAO, V.M. Microencapsulation of natural anti-oxidant pigments. In L. M. C. Sagis (Ed.), **Microencapsulation and microspheres for food applications**, p. 369–389, 2015.

VEHRING, R. Pharmaceutical particle engineering via spray drying. **Pharmaceutical Research**, v. 25, p. 999–1022, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Overweight and obesity. 2019, June 26. Disponível em << [https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus2019?gclid=CjwKCAiAudD\\_BRBXEiwAudakX3myRIRIJcetUh4AxWiN8YqYiJZ6lcVyggKSnGpzQ9zY-SAlmp9L-hoCpf4QAvD\\_BwE](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus2019?gclid=CjwKCAiAudD_BRBXEiwAudakX3myRIRIJcetUh4AxWiN8YqYiJZ6lcVyggKSnGpzQ9zY-SAlmp9L-hoCpf4QAvD_BwE)>> Acesso em: 05 jan. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 2016. Obesity and overweigh. Disponível em << <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>>> Acesso em: 01 jan. 2020.

WÜTTH, R., HÖRMANNSPERGER, G., WILKE, J., FOERST, P., HALLER, D., KULOZIK, U. Protective effect of milk protein based microencapsulation on bacterial survival in simulated gastric juice versus the murine gastrointestinal system. **Journal of Functional Foods**, v.15,p. 116–125,2015.

YASMIN, A.; BUTT, M. S.; AFZAAL, M.; BAAK, M.; NADEEM, M. T.; SHAHID, M. Z. Prebiotics, gut microbiota and metabolic risks: Unveiling the relationship. **Journal of Functional Foods**, v.17, p.189-201, 2015.

ZARDINI, E., Ethnobotanical notes on "Yacon" *Polymnia sonchifolia* (*Asteraceae*). **Economic Botany**. v.45, n.1, p.72–85, 1991.

ZHEN-YUAN, Z. H. U., JING-YI, Z., LI-JING, C., XIAO-CUI, L. I. U., YANG, L. I. U., WAN-XIAO, W., YONG-MIN, Z. Comparative evaluation of polysaccharides isolated from *Astragalus*, oyster mushroom, and yacon as inhibitors of  $\alpha$ -glucosidase. **Chinese Journal of Natural Medicines**, v.12, n.4, p. 290–293, 2014.

**ARTIGO. MICROENCAPSULAMENTO DE *Lactobacillus acidophilus* A PARTIR DE EXTRATO SOLÚVEL DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*): Um estudo de parâmetros de processo**

**RESUMO:**

A batata yacon é uma raiz tuberosa que vem despertando interesse, por apresentar em sua composição compostos bioativos (fibras prebióticas) que oferecem benefícios à saúde. É considerada alimento funcional, uma vez que apresenta um alto teor de frutanos e compostos fenólicos, possuindo características prebióticas e antioxidantes, respectivamente. O yacon apesar de ser bastante perecível, apresenta grande potencial na tecnologia no desenvolvimento de novos produtos alimentícios. Esta pesquisa estudou os efeitos de diferentes materiais de parede, maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) na viabilidade de *Lactobacillus acidophilus* LAFTI L10 e propriedades físico-químicas em extrato solúvel de yacon, após secagem por atomização. Para a secagem em *Spray Dryer* foi elaborada uma solução de alimentação com 30% de sólidos totais, sendo 10% de material de parede e adicionado à mistura o *L. acidophilus* LAFTI L10. A influência das condições de processo sobre a Eficiência de encapsulamento, Umidade; Atividade de água; Análise Colorimétrica, Higroscopicidade, Compostos fenólicos, Capacidade antioxidante e Viabilidade celular (log UFC/g) foram analisadas por meio de um planejamento fatorial de  $2^3$  com 8 pontos fatoriais e 3 pontos centrais, totalizando 11 ensaios. Para as variáveis independentes foram utilizadas, Temperatura do ar de secagem (110, 130° e 150°C), Vazão Mássica (0,48 L/h; 0,60 L/h e 0,72 L/h), Material de Parede (MP) utilizado Maltodextrina (MD) e/ou goma arábica (GA) e foi analisada a microscopia eletrônica. Independente da condição de processo e do MP utilizado, os microencapsulados apresentaram baixo teor de umidade (3,97 a 8,3 %), de  $A_w$  (0,14 a 0,38) e boa eficiência da microencapsulação (78,37 a 99,59%). De modo geral, as partículas apresentaram formato esférico, levemente abauladas, íntegras e sem fissuras e cor mais clara produzido com MD em comparação ao GA ( $L= 90,58$  a  $96,71$ ). No entanto, os resultados mais satisfatórios foram encontrados com a GA utilizada como MP apresentando boa viabilidade

celular do *L. acidophilus* LAFTI L10, melhor perfil na atividade antioxidante do DPPH e FRAP, assim, pode ser considerada uma técnica promissora a ser utilizada na produção de novos produtos alimentícios com propriedades funcionais.

**Palavras-chave:** *Spray dryer; Prebiótico, Lactobacillus acidophilus.*

**ABSTRACT:**

The yacon potato is a tuberous root that is interest, as it contains bioactive compounds, that offer health benefits in the composition. Considered a functional food, has a high content of fructans and phenolic compounds, with prebiotic and antioxidant characteristics, respectively. Even being quite perishable, it has great potential in technology in the development of new food products. The objective of this study was to evaluate the effects of different encapsulating agents, maltodextrin (MD) and gum arabic (GA) on the viability of *Lactobacillus acidophilus* LAFTI L10 and physico-chemical properties in soluble yacon extract, after spray drying. For the drying in Spray Dryer a feeding solution with 30% of total solids was elaborated, being 10% of wall material and *L. acidophilus* LAFTI L10 was added to the mixture. The influence of process conditions on the encapsulation efficiency, moisture; Water activity; Color Analysis, Hygroscopicity, Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and Cell Viability (log CFU / g) were analyzed through a factorial design of  $2^3$  with 8 factorial points and 3 central points, totaling 11 trails. For the independent variables, drying air temperature (110°, 130° and 150 ° C), Mass Flow (0.48 L / h; 0.60 L / h; 0.72 L / h), Wall Material ( WM) used Maltodextrin (MD) and / or gum arabic (GA) and electronic microscopy was analyzed. Anyway of the process condition and the WM used, the microencapsules presented low moisture content (3.97 to 8.3%), Wa (0.14 to 0.38) and good microencapsulation efficiency (78.37 to 99 , 59%). In general, the particles was a spherical shape, slightly domed, intact and without cracks and a lighter color produced with MD compared to GA (L = 90.58 to 96.71). However, the most satisfactory results were found with the GA used as MP presenting good cell viability of *L. acidophilus* LAFTI L10, the best profile in the antioxidant activity of DPPH and FRAP, thus, it can be considered a promising technique to be used in the production of new food products with functional properties.

**Keywords:** *Spray dryer; Prebiótico, Lactobacillus acidophilus.*

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo elevado por alimentos com características funcionais reflete o interesse pelas indústrias alimentícias e, conseqüentemente, há um aumento das pesquisas sobre os probióticos e prebióticos. O Brasil fatura em torno de US\$ 10 bilhões ao ano, e no mundo, esse setor cresceu 38% em 2017, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos para Fins Especiais (ABIADFE, 2016).

A ingestão regular de alimentos probióticos pode trazer benefícios como melhora da imunidade, a prevenção de alergias alimentares, redução da hipercolesterolemia e sintomas associados à intolerância à lactose, inibição de patógenos e a proteção contra as doenças gastrointestinais (WHO, 2001; OLIVEIRA, et al., 2016)

A ingestão oral de um probiótico deve atender a um nível pré-estabelecido de células viáveis. O consumo de um alimento contendo entre  $10^6$  a  $10^8$  UFC/mL de bactérias probióticas é suficiente para a colonização adequada do trato gastrointestinal (BRASIL, 2001).

Os prebióticos por sua vez, são ingredientes alimentares não digeríveis que tem efeito benéfico por estimular seletivamente o crescimento e a atividade de uma ou mais bactérias no cólon. Os mais promissores são os fruto-oligossacarídeos (FOS), inulina, oligofrutose, galacto-oligossacarídeos (GOS), transgalacto-oligossacarídeos (TOS) e lactulose (GAGGIA et al., 2010; VALCHEVA; DIELEMAN, 2016).

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é um alimento funcional que tem sido extensivamente estudado devido às suas propriedades antioxidantes e potencial prebiótico (HABIB et al., 2011 ; OLIVEIRA et al., 2017, OLIVEIRA et al., 2013). É originário das regiões andinas, pertencente à família *Asteraceae* (OJANSIVU et al., 2011) e devido ao seu sabor adocicado e suculência, as raízes tuberosas da planta são frequentemente consumidas em sua forma natural e as folhas são usadas no chá (DELGADO et al., 2013). As raízes são ricas em fruto-oligossacarídeos (FOS) com importantes efeitos bifidogênicos (CAETANO et al., 2016).

Este tubérculo é um alimento altamente perecível, mesmo quando armazenado sob refrigeração. Após colheita, as raízes sofrem transformações

químicas e bioquímicas, como a hidrólise dos FOS em açúcares simples, levando à redução de sua funcionalidade (SHI et al., 2013).

A microencapsulação é considerada uma técnica que protege substâncias instáveis, através de um agente encapsulante, mantendo, assim, a estabilidade da molécula protegida (PAULO; SANTOS, 2017; BORA et al., 2018). Em relação à técnica de microencapsulação, a secagem por atomização (*Spray drying*) é uma das mais utilizadas e eficazes, sendo considerada uma técnica simples, econômica e de alta velocidade de secagem, preservando compostos sensíveis no processamento de alimentos que evitam a degradação e as mudanças negativas (SHISHIR; CHEN, 2017; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ et al., 2005; SOSNIK; SEREMETA, 2015; PEANPARKDEE; IWAMOTO; YAMAUCHI, 2016).

A escolha correta do material da parede tem uma influência na eficiência de encapsulação e estabilidade das microcápsulas. Além de não reagir com o material do núcleo, capacidade de selar e manter o núcleo dentro das cápsulas, proteção a fatores ambientais, sabor neutro quando aplicado nos alimentos (ANANDHARANAKRISHNAN, PADMA, 2015).

A maltodextrina (MD) é muito utilizada por apresentar baixo custo e propriedades de reconstituição rápida, enquanto a Goma Arábica (GA) tem uma capacidade de formação de filme melhor do que MD, garante a formação de pós com maior fluidez e aumenta a proteção de compostos sensíveis (KHASAEI et al., 2014).

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo obter o pó a partir de diferentes agentes encapsulantes sobre a viabilidade do *Lactobacillus acidophilus* LAFTI L10 no extrato de yacon em pó, sobre as características físicas e físico-químicas e potencial probiótico avaliando suas características físicas e físico-químicas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### Preparo das Amostras

Foram utilizadas, raízes de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) adquiridas Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco – CEASA, localizado na cidade de Recife – PE. As raízes foram selecionadas e estocadas a 10 °C por 24 horas no laboratório de Análises Físico-químicas de Alimentos do Departamento de Ciências do Consumo da Universidade Federal Rural de Pernambuco- DCC/UFRPE. Uma amostra do yacon foi dessecada em estufa à 60 °C, triturada e acondicionada em dessecador à temperatura ambiente para posterior caracterização. As raízes remanescentes foram utilizadas na extração do extrato aquoso e estudo por *spray drying*.

### Composição físico-química da raiz de yacon

A composição foi determinada em triplicata, foram feitas as seguintes análises: umidade a 60°C durante 24h até chegar o peso constante; determinação de cinzas através de incineração em mufla a 550°C a 570°C (AOAC, 2000); proteínas pelo método Kjeldahl (AOAC, 2000); lipídios pelo método de Bligh e Dyer (1959); conteúdo de carboidratos totais por diferença.

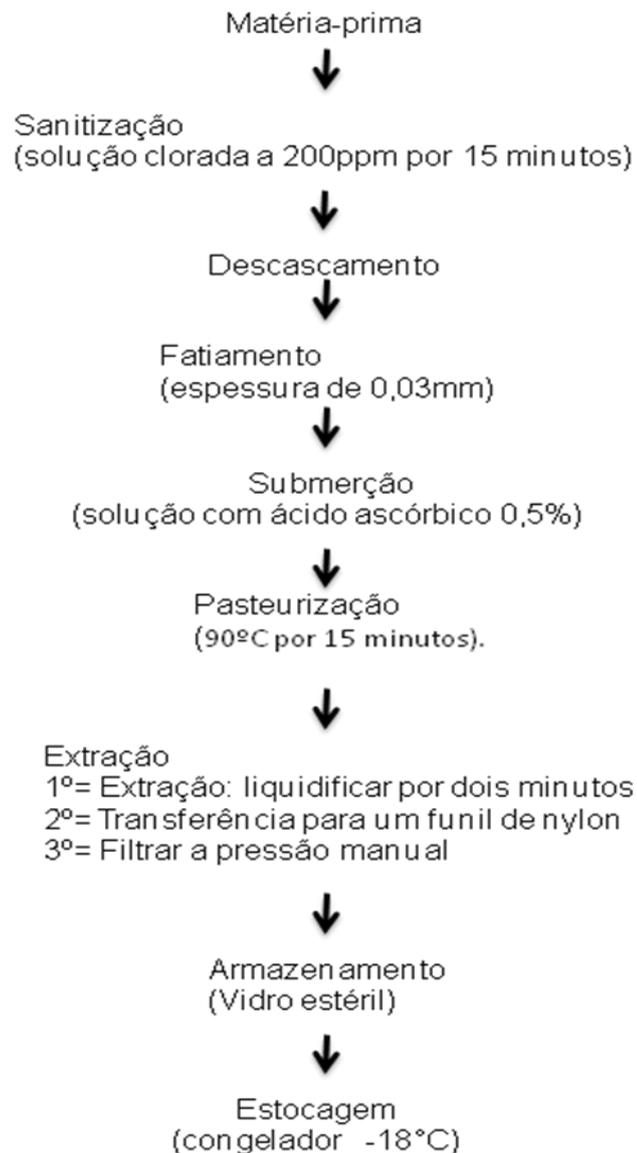
### Obtenção do extrato de yacon

As raízes foram limpas com água abundante para remover qualquer sujidade e substâncias estranhas. Em seguida foi sanitizada em uma solução clorada a 200ppm por 15 minutos. Foram pesadas, higienizadas, descascadas e fatiadas manualmente com espessura de 0,03mm, em seguida imersas em solução com ácido ascórbico 0,5% por 5 minutos. Sendo posteriormente submetida a um processo de pasteurização em 90°C por 15 minutos (adaptado de PAULY-SILVEIRA, et al, 2010).

As fatias foram transferidas para liquidificador, e triturados por 2 minutos sem adição de água em velocidade máxima. Após esse processo, o material foi transferido para um funil de nylon e filtrado à pressão manual.

Foi medido o teor de sólido solúvel (TSS) usando um refratômetro (RL3, PZO, Brochowska, Polônia) e uma alíquota desse extrato foi submetida ao delineamento do perfil qualitativo. O extrato de yacon resultante foi refrigerado por no máximo 2 horas para posterior análise. As etapas de processamento da matéria prima estão descritas na Figura 1.

**Figura 1-** Fluxograma do processamento do extrato solúvel de yacon (*Smallanthus sonchifolius*).



### **Meio de cultura**

A cultura probiótica de *Lactobacillus acidophilus* LAFTI L10 (DSM Food Specialties, Sydney, Australia) foi ativada em caldo MRS e incubada a 37 °C durante 24h. Em seguida, as células probióticas foram lavadas e centrifugadas, por três vezes, com solução salina a 0,85% por 15 minutos. Em seguida, o *pellet* das células foi ressuspensão para obter uma concentração de  $10^{10}$  UFC/mL, para uso subsequente (adaptado de KINGWATEE et al., 2015).

### **Encapsulação do extrato de yacon e *Lactobacillus acidophilus***

Para a produção das microcápsulas foi preparada uma solução injetora com 30% de sólidos totais, utilizando o extrato aquoso de yacon e diferentes materiais de parede (Tabela 1). A cultura de *L. acidophilus* LAFTI L10 foi adicionada a mistura do extrato, obtendo uma concentração de  $10^{10}$  UFC/mL. A secagem por atomização foi realizada através de um mini *spray dryer* – LM, modelo MSD 1.0 (LABMAQ do Brasil LTDA - Ribeirão Preto/São Paulo). As microcápsulas foram acondicionadas em potes de vidro previamente esterilizados, hermeticamente fechados e recobertos por papel alumínio, em seguida foram armazenados sob-refrigeração até o momento das determinações analíticas.

### **Planejamento Fatorial**

Foi realizado um planejamento fatorial  $2^3$ , com 8 pontos fatoriais (níveis  $\pm 1$ ) e 3 pontos centrais (nível 0), totalizando 11 ensaios. As variáveis independentes foram a temperatura, vazão mássica e as concentrações do material de parede estão apresentadas na Tabela 1, foram utilizadas 10% de recheio em relação aos sólidos totais.

As variáveis dependentes são: Eficiência de Encapsulamento, Umidade (%); Atividade de água ( $A_w$ ); Análise Colorimétrica, Higroscopicidade ( $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ), Compostos fenólicos, Análise de Potencial antioxidante e Viabilidade celular ( $\log$  UFC/g).

**Tabela 1-** Matriz de planejamento fatorial com variáveis independentes, variáveis dependentes e concentração do material de parede.

Ensaio	Variáveis independentes		
	Temperatura de Secagem	Vazão mássica	Material de Parede
1	+1 (150°C)	+1 (0,72 L/h)	+1 (100% M)
2	+1 (150°C)	+1 (0,72 L/h)	-1 (100% Ga)
3	+1 (150°C)	-1 (0,48 L/h)	+1 (100% M)
4	+1 (150°C)	-1 (0,48 L/h)	-1 (100% Ga)
5	-1 (110°C)	+1 (0,72 L/h)	+1 (100% M)
6	-1 (110°C)	+1 (0,72 L/h)	-1 (100% Ga)
7	-1 (110°C)	-1 (0,48 L/h)	+1 (100% M)
8	-1 (110°C)	-1 (0,48 L/h)	-1 (100% Ga)
9	0 (130°C)	0 (0,60 L/h)	0 (50%M/50%Ga)
10	0 (130°C)	0 (0,60 L/h)	0 (50%M/50%Ga)
11	0 (130°C)	0 (0,60 L/h)	0 (50%M/50%Ga)

Os dados obtidos foram ajustados ao seguinte polinômio:

[Equação 1]

O modelo foi testado como de 2° ordem, segundo a equação 1:

$$Y = b_0 + b_1T + b_2V + b_3M + b_{12}TV + b_{13}TM + b_{23}TV + b_{123}TVM + e(T,V,M)$$

Onde Y é resposta, é o coeficiente de regressão constante, b1, b2 e b3 são coeficientes linear de regressão, T, V e M são variáveis independentes e b<sub>12</sub>, b<sub>13</sub>, b<sub>23</sub> b<sub>123</sub> são coeficientes de efeito de interação.

### **Determinação analítica do microencapsulado**

#### *Eficiência do Encapsulamento (EE)*

É definida como a taxa de sobrevivência do microrganismo durante o processo, calculada de acordo com a Eq (1), proposta por Nunes et al. (2018):

[Equação 2]

$$EE (\%) = \frac{N}{N_0} \times 100$$

Onde N é o número de células viáveis (log CFU.g - 1) de matéria seca em microcápsulas e N<sub>0</sub> é o número de células viáveis (logCFU.g - 1) de matéria seca nas soluções de alimentação (antes da secagem).

#### *Umidade*

A determinação da umidade foi realizada utilizando balança de infravermelho MARTE®, modelo ID50, à temperatura de 105°C, por 30 minutos.

#### *Atividade de Água*

A atividade de água foi medida através do analisador de atividade de água AQUA LAB®, modelo 4TE (AOAC, 1980).

### *Higroscopicidade*

Para essa análise, 1,5g do microencapsulado foi colocado a 25°C em um dessecador hermético contendo uma solução saturada de NaCl (HR 75,3%). A amostra foi pesada após 1 semana, tendo sua higroscopicidade expressa como grama de umidade adsorvida por 100g de pó (CAI; CORKE, 1999).

### *Análise Colorimétrica*

A cor do pó microencapsulado foi avaliada usando o colorímetro (CR400/410, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan), em sistema CIELab, onde  $L^*$  refere-se a luminosidade (0= preto e 100= branco),  $a^*$  = intensidade da cor vermelha a verde e  $b^*$  = intensidade da cor amarela a azul. O colorímetro operando no modo de refletância e iluminante C, com ângulo de observação de 2°, será previamente calibrado usando uma cerâmica branca. Os valores  $a^*$  e  $b^*$  foram utilizados para calcular o ângulo Hue ( $^{\circ}h^* = \text{tang}^{-1} b^*/ a^*$ ) e croma ( $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ ).

### *Compostos Fenólicos*

Os compostos fenólicos totais foram determinados por método espectrofotométrico, onde a absorvância foi registrada a 725 nm, utilizando reagente de Follin Ciocalteau (Merck) e água como solvente, segundo metodologia descrita por Wettasinghe e Shahidi (1999). O teor de fenólicos totais foi determinado por interpolação da absorvância das amostras contra uma curva de calibração construída com ácido gálico e os resultados expressos em mg em equivalente de ácido gálico por 100 gramas de amostra.

### *Análise do potencial antioxidante das microcápsulas.*

#### **DPPH**

A capacidade de sequestro do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Brand-Williams, Cuvelier, & Berset (1995). A absorvância em 515 nm foi medida durante 30 min de reação em espectrofotômetro (Shimadzu UV-1650PC). A atividade antioxidante foi calculada utilizando uma curva padrão preparada com Trolox (0-0,3 mg / mL) e o resultado foi expresso em  $\mu\text{M}$  de TE / g de micropartículas.

## **FRAP**

O ensaio do poder antioxidante redutor férrico (FRAP) foi conduzido de acordo com o método relatado por Thaipong, Boonprakob, Crosby, Cisneros-Zevallos, & Byrne (2006). A absorvância foi medida a 593 nm, usando um espectrofotômetro Shimadzu UV-1650PC. A atividade antioxidante foi calculada a partir de uma curva padrão preparada de Trolox (0-0,15 mg / mL) e resultado expresso em  $\mu\text{M TE} / \text{g}$  de micropartículas

## **Avaliação da Viabilidade Celular**

Foi determinada a viabilidade de *L. acidophilus* LAFTI L 10 do pó microencapsulado conforme Vanderzant e Splittstoesser (1992) e Santivarangkna, Kulozik e Foerst (2006).

Após a microencapsulação, 1 grama do produto em pó foi dissolvido em 9 mL de água peptonada estéril a 0,1% p/v (diluição  $10^{-1}$ ) e diluídas até dissolver. Em seguida, foi realizada a diluição seriada da amostra, até  $10^{-7}$ . Alíquotas de 1 mL das diluições foram inoculadas em triplicata em placas com meio Ágar De Man Rogosa Sharp (MRS) (MERCK), utilizando a técnica *pour plate*, e incubadas a 37 °C durante 72 h, sob anaerobiose. As placas contendo de 25 a 250 colônias foram contadas e os resultados foram expressos em Unidades Formadoras de Colônia por grama de sólido (UFC/g) (adaptado de LEONE et al., 2017).

## **Microscopia eletrônica de Varredura**

A uniformidade e morfologia do microencapsulado foram determinadas por microscopia eletrônica, utilizando microscópio eletrônico, JEOL-6460 (SANTOS; SANTOS, 2008). As imagens obtidas no microscópio foram analisadas utilizando o software AxioVision Rel. 4.8 (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Alemanha).

## Análise estatística

Análise Estatística de variância (ANOVA), o teste de falta de ajuste (teste F), a determinação dos coeficientes de regressão, a obtenção dos diagramas de Pareto e dos gráficos de superfícies de resposta, foram realizadas com o auxílio do software Statistica 10.0 (StatSoft, Tulsa, EUA) ao nível de significância  $p < 0,05$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Composição centesimal da raiz de yacon

A análise da composição centesimal na raiz de yacon está representada na Tabela 2. Os valores estão expressos em porcentagem em base seca.

**Tabela 2.** Composição centesimal da raiz de yacon.

<b>Análises*</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Umidade (%)*	10,15	$\pm 0,105$
Proteínas totais (g.100g <sup>-1</sup> )*	5,02	$\pm 0,075$
Lipídeos Totais (g.100g <sup>-1</sup> )*	0,73	$\pm 0,046$
Cinzas (g.100g <sup>-1</sup> )*	3,65	$\pm 0,083$
Carboidratos totais (g.100g <sup>-1</sup> )**	80,45	$\pm 4,18$

\*Média de três repetições  $\pm$  desvio.

\*\*Calculados por diferença

Conforme a tabela 2 pode-se observar que a composição centesimal apresentou como nutriente predominante os carboidratos ( $80,45 \pm 4,18$ ), baixo teor de proteína ( $5,02 \pm 0,075$ ), gordura ( $0,73 \pm 0,046$ ) e cinzas ( $3,65 \pm 0,083$ ). Esses resultados foram próximos ao obtido por Lago et al (2015), na composição centesimal em base seca do yacon, e encontraram os seguintes valores de umidade ( $3,807 \pm 0,25$ ), proteína ( $2,327 \pm 0,28$ ) lipídios ( $0,35 \pm 0,07$ ), cinzas ( $4,02 \pm 0,08$ ) e carboidratos ( $67,39 \pm 0,97$ ).

Ao analisar a composição da raiz de yacon, Fabersani et al (2018), obtiveram resultados semelhantes ao presente estudo, verificando baixo teor de proteína ( $2,7 \pm 0,15$ ) e gordura ( $0,17 \pm 0,01$ ) e um valor elevado de carboidratos ( $82,72 \pm 2,67$ ).

### 3.2 Análise das variáveis Umidade, Atividade de Água e Higroscopicidade em extrato de yacon em pó inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.

Os resultados do planejamento fatorial  $2^3$  estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Resultados das variáveis dependentes, Umidade, Atividade de Água e Higroscopicidade) do planejamento fatorial  $2^3$ .

Ensaio	T (°C)	Vazão (L/h)	MP	U (%)	Aw	Higroscopicidade (g/100g)
1	150 (+1)	0,72 (+1)	MD (+1)	4,68±0,19	0,16±0,00	21±2,96
2	150 (+1)	0,72 (+1)	GA (-1)	6,25±0,99	0,15±0,00	15,6±0,42
3	150 (+1)	0,48 (-1)	MD (+1)	3,97±0,04	0,15±0,00	36,35±1,62
4	150 (+1)	0,48 (-1)	GA (-1)	6,98±0,12	0,14±0,00	15±0,28
5	110 (-1)	0,72 (+1)	MD (+1)	6,24±0,26	0,32±0,00	11,95±0,35
6	110 (-1)	0,72 (+1)	GA (-1)	8,30±0,05	0,38±0,02	21,85±0,35
7	110 (-1)	0,48 (-1)	MD (+1)	6,39±0,04	0,28±0,00	33,55±1,20
8	110 (-1)	0,48 (-1)	GA (-1)	7,13±1,26	0,36±0,03	23,2±1,13
9	130 (0)	0,60 (0)	MD/GA (0)	6,41±0,55	0,21±0,01	13±0,28
10	130 (0)	0,60 (0)	MD/GA (0)	6,72±0,70	0,21±0,01	12,05±0,21
11	130 (0)	0,60 (0)	MD/GA (0)	5,45±0,22	0,26±0,01	12,2±0,84

\*Média da triplicata  $\pm$  desvio padrão Onde: T= temperatura de secagem; MP= material de parede; MD= maltodextrina, GA= goma arábica, U= umidade; Aw= atividade de água; H= higroscopicidade.

### 3.2.1 Atividade de água ( $A_w$ )

A atividade de água ( $A_w$ ) indica água livre (água não ligada às moléculas), permitindo que aconteçam as reações bioquímicas. A quantidade de  $A_w$  nos pós com produtos probióticos é de grande importância para a manutenção da viabilidade celular (REYES et al., 2018).

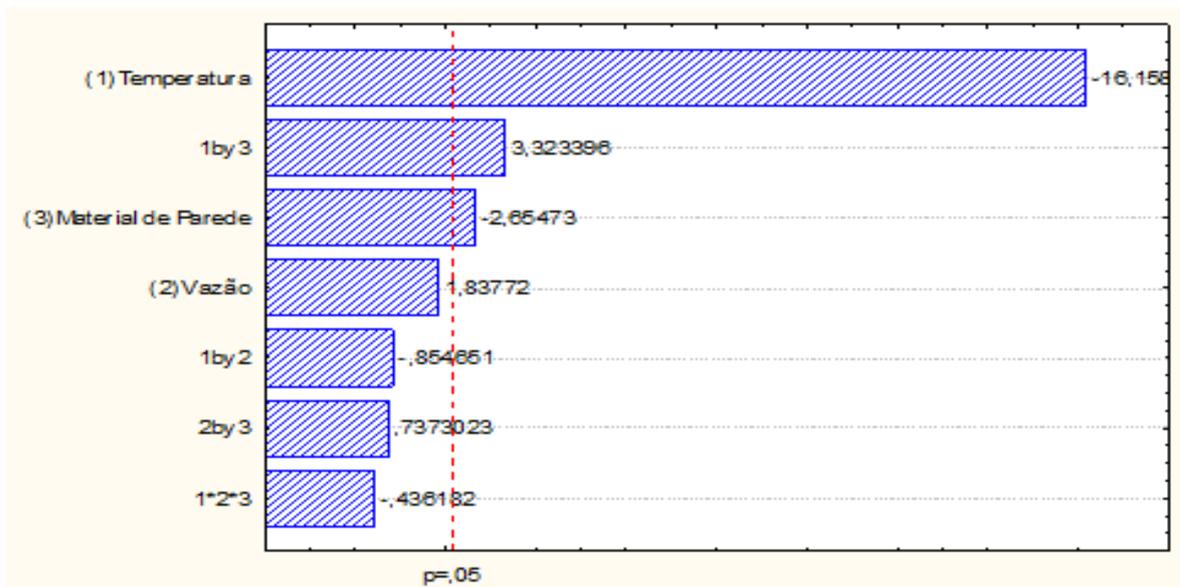
De acordo com a Tabela 3, a atividade de água do pó atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10 variou entre 0,14 a 0,38, significando que independente das condições do processo, o produto foi microbiologicamente estável. Alimentos com valores de atividade de água dos pós entre 0,6 ou menos, é considerado seguro quanto aos aspectos microbiológicos e bioquímicos (Kumar et al., 2017).

Reyes et al. (2018) ao estudar os efeitos de diferentes agentes encapsulantes (amido de milho, maltodextrina e goma arábica) na viabilidade de *L. acidophilus*, após secagem por atomização a uma temperatura de secagem de 140°C, observaram que a atividade de água ( $A_w$ ) dos pós não foi afetada pelo tipo de material da parede. Seus resultados variaram de 0,26 a 0,35, não apresentando diferença estatística ( $p > 0,05$ ).

No presente estudo, o menor valor para a variável  $A_w$  foi de 0,14 (Ensaio 4), obtido na condição de temperatura de 150°C, vazão de suspensão 0,48 L/h e 27% de concentração de goma arábica. Assim, o pó atomizado passou por uma maior taxa de evaporação de água produzindo partículas com menor  $A_w$ .

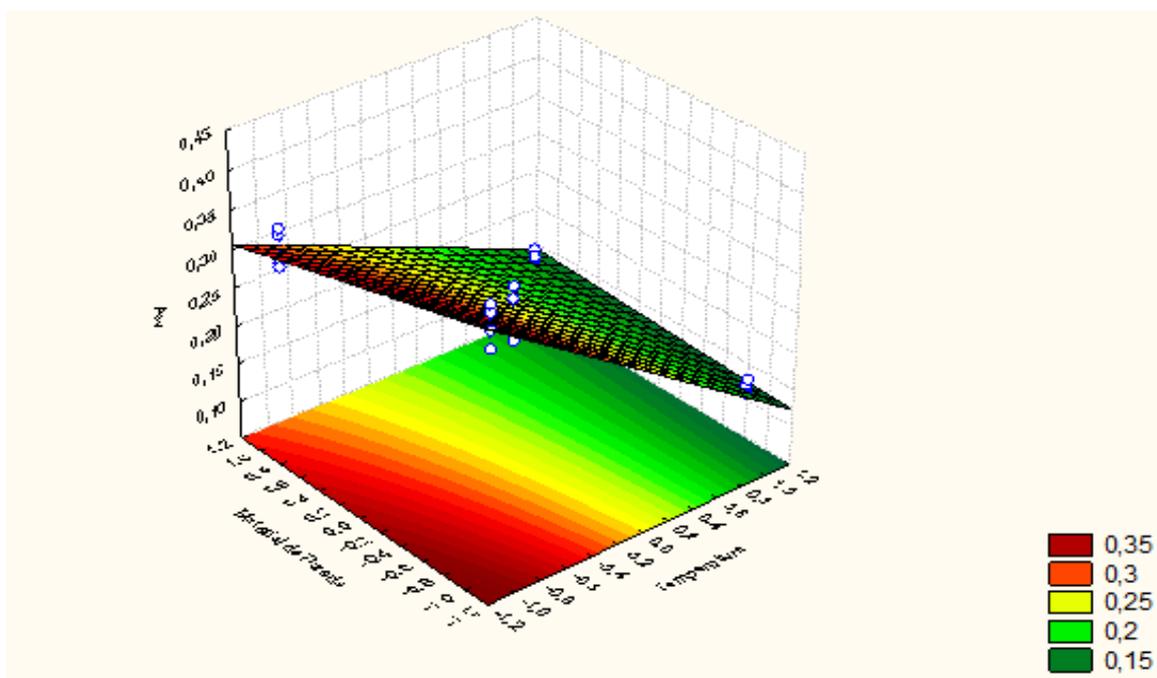
De acordo com o diagrama de Pareto (Figura 2) observa-se que a  $A_w$  do pó atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10 foi influenciada pelo tipo de material de parede, temperatura (°C) e interação entre ambos. Obteve-se menor  $A_w$  com um aumento de temperatura.

**Figura 2.** Diagrama de Pareto da atividade de água de yacon atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.



A Figura (3) mostra a superfície de resposta gerada para a atividade de água.

**Figura 3.** Superfície de resposta para atividade de água em função do material de parede (maltodextrina) e da temperatura (°C) de yacon atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.



Observa-se na Figura 3 que, a utilização de MD com a temperatura elevada obteve-se uma menor  $A_w$ . Chew, Tan e Nyam (2018) mencionaram o mesmo efeito dos pós microencapsulados de óleo de semente de kenaf (*Hibiscus cannabinus L*) foram considerados estáveis, variando a  $A_w$  entre 0,2 a 0,3, que foi estável à contaminação microbiana. Assim, a baixa atividade de água limitaria o crescimento microbiano, maior estabilidade físico-química e aceitabilidade (GOYAL et al., 2015).

### 3.2.2 Umidade (%)

O teor de umidade do pó probiótico tem grande influência na estabilidade do produto e também pode influenciar a viabilidade probiótica durante o armazenamento, que é um dos parâmetros de qualidade a serem considerados nos pós contendo microrganismos (GUERIN et al., 2017)

No presente estudo, a umidade do pó atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10 variou de 3,97 a 8,30% (Tabela 3). Os resultados obtidos de umidade e atividade de água encontram-se dentro da faixa estabelecida para alimentos secos e estáveis do ponto de vista microbiológico, uma vez que os valores de atividade de água foram inferiores a 0,6 e umidade menor que 15%, faixa considerada mínima para o desenvolvimento de micro-organismos (BRASIL, 2005).

Comparando os ensaios 1 e 3 com 2 e 4 verifica-se a mesma temperatura de alimentação mas com redução de umidades para os ensaios 1 e 3 que utilizaram a maltodextrina. A GA tem maior capacidade para manter a umidade em comparação com MD (NADEEM, et al 2011). Mishra et al. (2017) verificaram que o aumento da temperatura do ar de secagem e utilização da MD diminui a umidade das amostras analisadas.

A presença de maltodextrina é acompanhada por um aumento de matéria sólida na solução de alimentação e uma diminuição da umidade total a ser evaporada, resultando em um menor teor total de umidade do produto final (KHA et al., 2010). Já o aumento do teor de umidade da GA pode estar relacionado à capacidade de retenção de água das proteínas, com teores geralmente de 1,5-2,6% em sua composição (LIU et al., 2016).

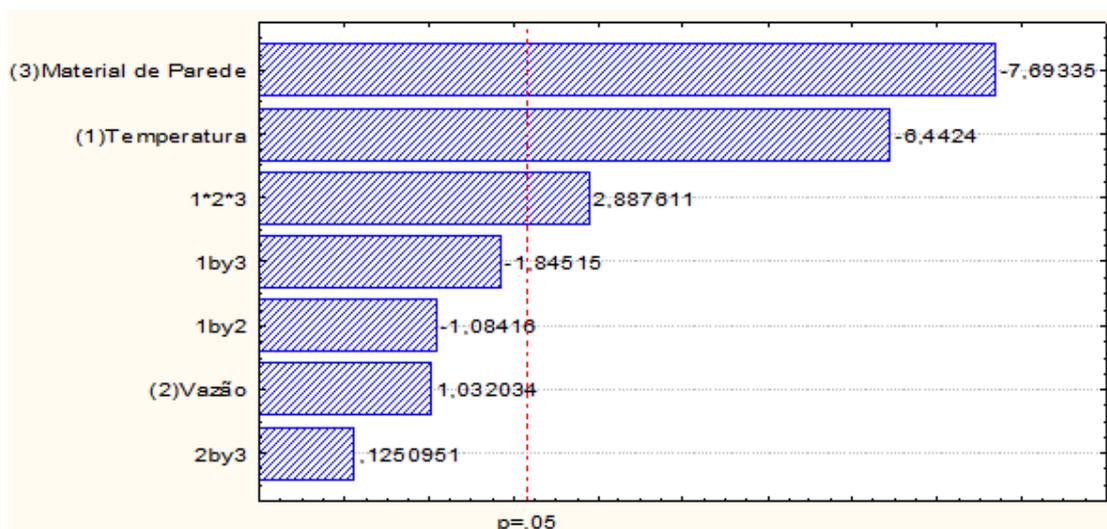
Valores semelhantes foram encontrados por REYES et al. (2018) ao estudarem os efeitos de diferentes agentes encapsulantes na viabilidade de *L. acidophilus* após secagem por atomização, obtiveram variação entre 5,63 e 8,98%. Os pós com MD (5,63%) apresentaram menor teor de umidade que a GA (8,94%), a uma temperatura de secagem de 140°C.

O ensaio 4 que apresentou menor umidade (3,97%), utilizando uma temperatura elevada (150 °C), menor vazão (0,48 mL/min) e com material de parede MD. Enquanto, que a secagem utilizando a temperatura 110°C resultou no maior percentual de umidade (8,30%), na vazão 0,72 mL/min e GA.

Com elevada temperatura de entrada, a taxa de transferência de calor dentro das gotículas / partículas atomizadas aumenta, o que leva a uma maior força motriz para a evaporação da água e, conseqüentemente, uma maior evaporação de água do produto, resultando um menor teor de umidade das amostras (TONON, et al 2008; IGUAL et al., 2014).

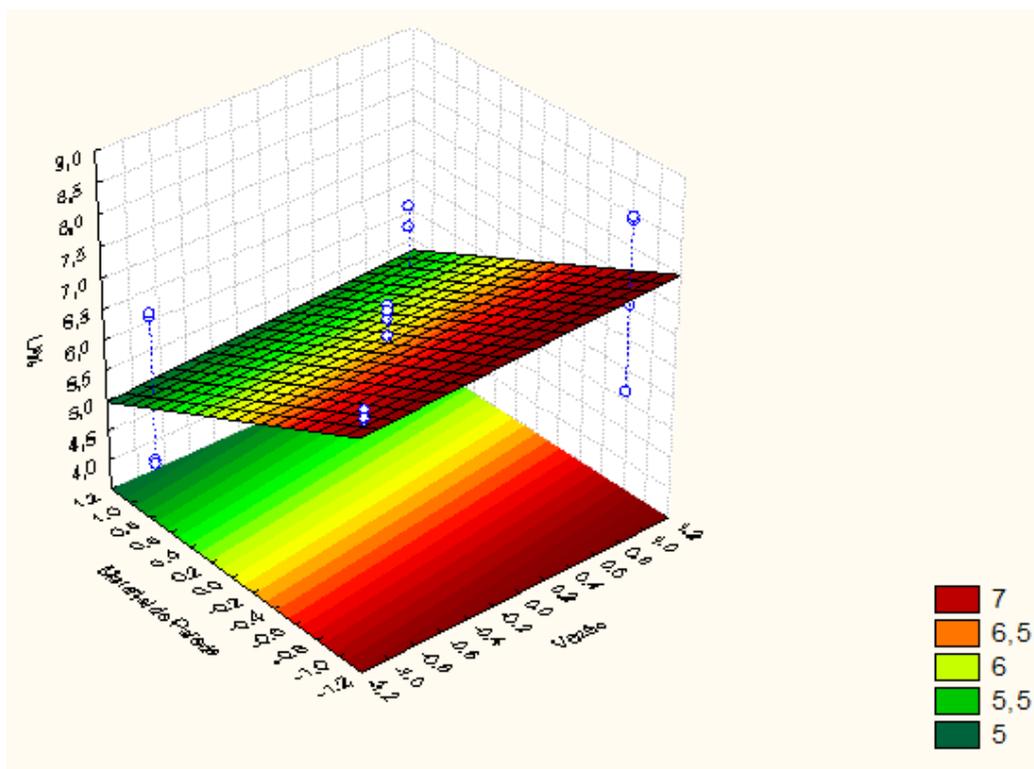
De acordo com o diagrama de pareto (Figura 4), observa-se que a umidade do pó atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10 foi influenciada pelo material de parede, temperatura de secagem (°C) e a interação das variáveis independentes. Obteve-se menor Umidade utilizando como material de parede a MD.

**Figura 4.** Diagrama de Pareto da Umidade de yacon atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.



As Figuras (5 e 6) mostram as superfícies de resposta para a variável umidade geradas através do modelo proposto, considerando-se os pontos médios de material de parede, vazão e temperatura de secagem.

**Figura 5.** Superfície de resposta para umidade em função do material de parede e vazão (L/h) de yacon atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.

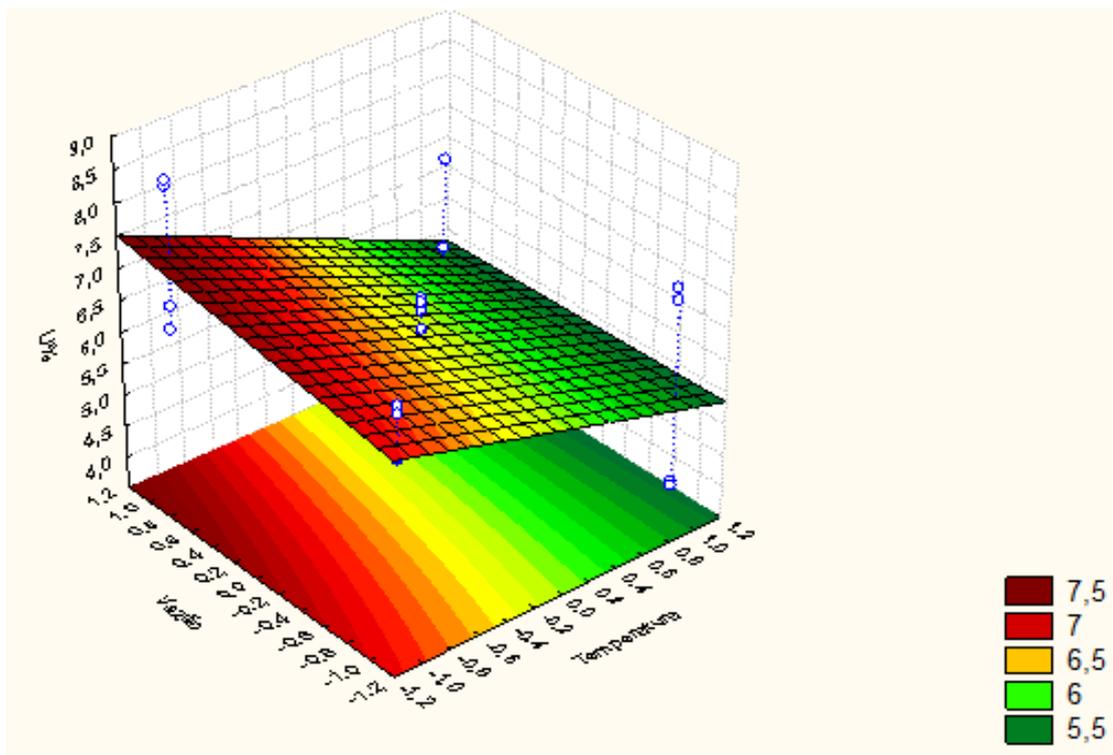


Na Figura 5 observa-se, a maltodextrina fez reduzir a umidade e a vazão não teve influência.

Resultado semelhante ao presente estudo achado por Sarabandi et al. (2019), ao analisar um pó encapsulado de extrato de berinjela utilizando como material de parede a GA e MD, obtiveram menores valores para a umidade na presente de temperaturas elevadas de secagem no produto final. Nesse estudo ao utilizar a temperatura de entrada de 140°C, os pós produzidos com GA apresentaram maior teor de umidade em relação ao MD,  $4,11 \pm 0,28$  e  $3,57 \pm 0,16$ , respectivamente.

Boonchu et al. (2015) microencapsularam os compostos bioativos de bagaço da uva vermelha e confirmaram que a utilização de MD como material de parede, diminui o teor de umidade a medida que a aumenta a temperatura. Esse resultado pode ser devido a presença de maltodextrina, pois ela aumenta a matéria sólida na solução de alimentação e diminui a umidade total final (KHA et al., 2010).

**Figura 6.** Superfície de resposta para umidade em função da vazão (L/h) e temperatura (°C) de yacon atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.



De acordo com a Figura 6, a temperatura elevada diminui a umidade, enquanto a vazão de suspensão não apresentou influência significativa.

Sarabandi et al. (2019) analisando o efeito da temperatura de entrada de secagem por spray dryer (140-170°C) e materiais de parede (maltodextrina, goma arábica e sua combinação) no pó encapsulado de extrato de berinjela, obtiveram o mesmo efeito da temperatura na umidade do produto final, ou seja, quanto maior a temperatura menor foi a umidade. O teor de umidade foi significativamente influenciado pela temperatura de entrada e diminuiu em altas temperaturas. Na temperatura de entrada elevada, a taxa de transferência de calor dentro das

gotículas / partículas atomizadas aumenta o que leva a uma maior força motriz para evaporação da água e, conseqüentemente, menor teor de umidade das amostras (TONON et al., 2008).

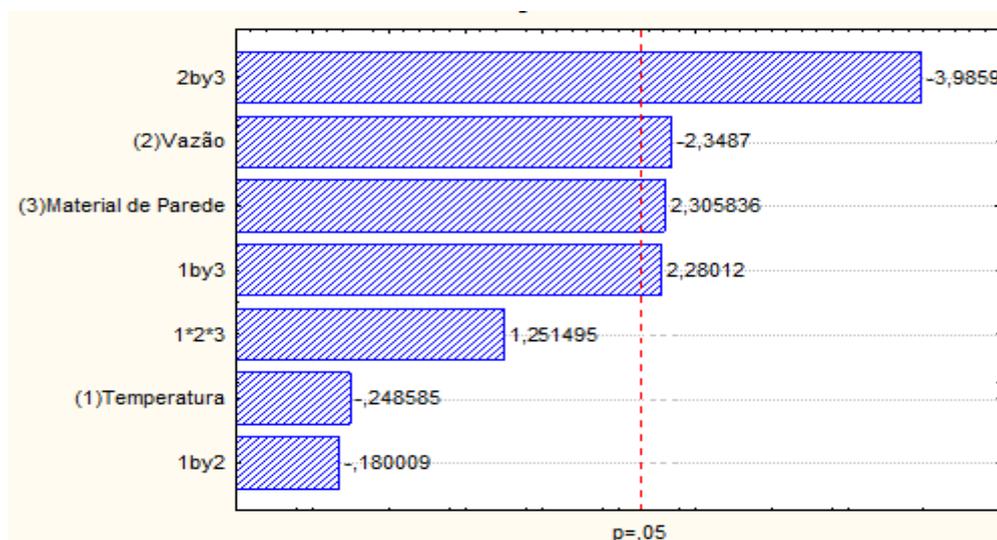
### 3.2.3 Higroscopicidade

Higroscopicidade é a capacidade de um material absorver a umidade do ambiente, que é um critério importante para avaliar a qualidade do pó (ZHANG, et al., 2019). Higroscopicidade mais alta é indesejável para os produtos em pó, pois causa a agregação dele, podendo influenciar nas propriedades nutricionais, reduzindo a fluidez e endurecimento durante o tempo de armazenamento na prateleira (MANDI, et al., 2019; CHEW et al., 2018).

Nesse estudo, verifica-se que o valor de higroscopicidade do pó atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10 variou de 11,95 - 36,35 g/100g (Tabela 3). Esses resultados podem ser observados com precisão pelo Gráfico de Pareto (Figura 7), que ilustra a influência das variáveis independentes da higroscopicidade.

Observa-se que na Figura 7, a higroscopicidade do pó atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10 foi influenciada pelo material de parede, vazão e interação das variáveis independentes. A interação da vazão e material de parede apresentou menor higroscopicidade.

**Figura 7.** Diagrama de Pareto da Higroscopicidade de yacon atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.



Zhang et al, (2019), avaliaram a microencapsulação por *spray dryer* do suco fermentado de Noni com diferentes concentrações de maltodextrina e goma arábica como material de parede. Os resultados indicaram que a higroscopicidade do pó foi significativamente influenciada ( $p < 0,05$ ) pelos tipos de materiais de parede aplicados para microencapsulação, onde a tendência foi a MD de 20 DE ter maior higroscopicidade que a GA. As diferenças na capacidade de absorção de umidade dos pós podem estar ligados à estrutura química de cada material de parede usado para microencapsulação. A absorção de umidade pode ser facilitada pela ligação de hidrogênio entre as moléculas de água e as regiões ricas em hidroxila nas regiões amorfa ou cristalina do pó. Portanto, moléculas com grupos mais hidrofílicos aumentam a absorção de umidade.

Diferentemente ao presente trabalho, Tao et al. (2019), ao microencapsular *Lactobacillus paracasei* Lpc-37 por secagem por atomização, observaram que os pós microencapsulados que continham GA, mostraram maior higroscopicidade. Esse comportamento pode ser atribuído a maior higroscopicidade dos materiais à base de polissacarídeos, conforme relatado por Murikipudi et al. (2013).

Observações semelhantes também foram evidentes em outros estudos relacionados à suco de cenoura microencapsulado em pó (JANISZEWSKA-TURAK et al., 2017) e suco de açaí pó (TONON et al., 2011).

### 3.3 Análise Colorimétrica

A cor é um dos indicadores mais importantes da qualidade do produto, uma vez que os consumidores manifestam forte preferência por produtos de aparência atrativa. Para poder descrever, quantificar e simular a percepção de cor compreendida pelos seres humanos, costuma-se utilizar o sistema CIE  $L^*a^*b^*$ . Esse método consiste na mensuração de três parâmetros: Luminosidade  $L^*$  (preto = 0 ao branco = 100) e tonalidades  $a^*$  {Verde (-) ↔ (+) Vermelho} e  $b^*$  {Azul (-) ↔ (+) Amarelo}. As médias e desvios padrões dos parâmetros  $L^*a^*b^*$  dos ensaios realizados estão presentes da Tabela 4.

Tabela 4 - Resultado do planejamento fatorial 2<sup>3</sup> em relação à cor (L, a e b).

Ensaio	Temperatura (°C)	Vazão (L/h)	Material de Parede	L*	a*	b*
1	150 (+1)	0,72 (+1)	MD (+1)	95,86±0,27	-0,99±0,05	5,71±0,14
2	150 (+1)	0,72 (+1)	GA (-1)	93,23±0,12	-4,49±0,03	15,20±0,21
3	150 (+1)	0,48 (-1)	MD (+1)	94,85±0,42	-1,28±0,07	5,95±0,19
4	150 (+1)	0,48 (-1)	GA (-1)	93,69±0,08	-4,66±0,02	14,78±0,14
5	110 (-1)	0,72 (+1)	MD (+1)	96,21±0,47	-6,08±0,08	10,78±0,36
6	110 (-1)	0,72 (+1)	GA (-1)	90,85±0,03	0,19±0,04	7,79±0,12
7	110 (-1)	0,48 (-1)	MD (+1)	96,71±0,19	-1,05±0,07	5,79±0,26
8	110 (-1)	0,48 (-1)	GA (-1)	90,88±0,11	0,73±0,02	6,70±0,05
9	130 (0)	0,60 (0)	MD/GA (0)	93,87±0,28	0,14±0,03	6,28±0,10
10	130 (0)	0,60 (0)	MD/GA (0)	90,58±0,29	-1,79±2,31	6,61±0,08
11	130 (0)	0,60 (0)	MD/GA (0)	94,41±0,10	0,53±0,01	6,05±0,22

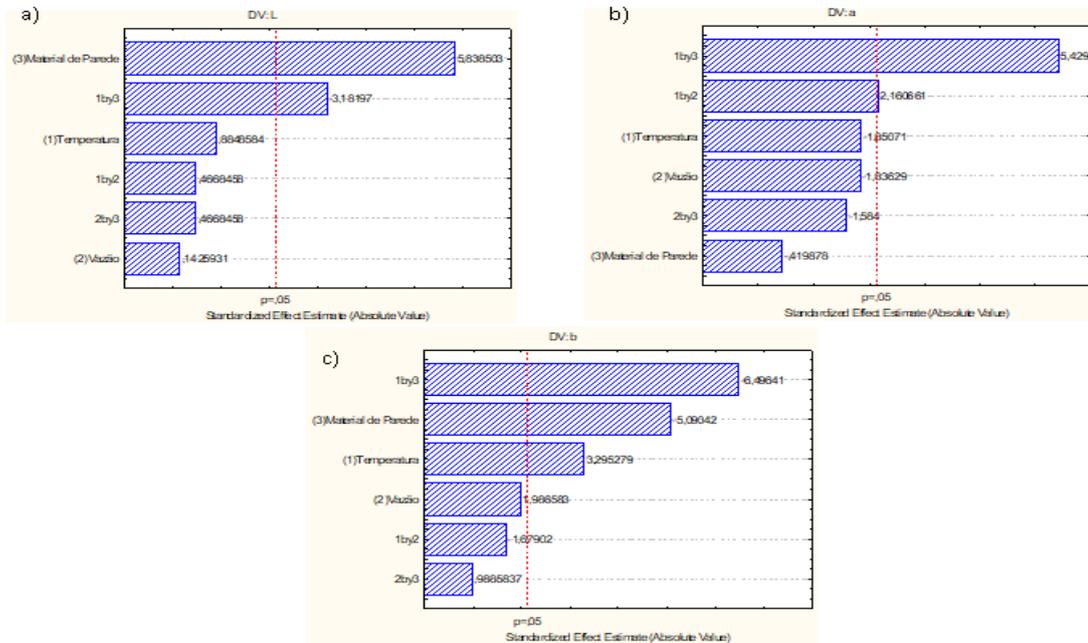
Os dados são expressos em média com seu desvio padrão. GA: Goma Arábica; MD: Maltodextrina; L\*: Luminosidade; a\*: Tonalidade {Verde (-) ↔ (+) Vermelho}; b\*: Tonalidade {Azul (-) ↔ (+) Amarelo}.

O pó microencapsulado com *L. acidophilus* LAFTI L10 produzido com MD apresentou maior L\* em comparação com amostras produzidas com GA. Na Figura 8 (a) observa-se que o material de parede foi o principal fator na alteração da luminosidade das amostras, esta tendência pode correlacionar-se com a cor inerente da MD, que é branca.

Diferente da luminosidade a tonalidade a\*, que varia do verde ao vermelho, não teve influência significativa dos materiais de parede utilizados, mas sim da interação entre temperatura e material de parede (Figura 8 (b)).

Nota-se que os ensaios elaborados com GA (Tabela 4) apresentam tonalidades mais próximas ao amarelo. A Figura 8 (c) indica que a passagem do nível -1 (GA) para o nível +1 (MD) reduz significativamente ( $p > 0,05$ ) o tom amarelado das amostras. Isto pode estar relacionado com a cor inerente da GA, que varia do amarelo ao avermelhado.

**Figura 8** – Diagramas de Pareto dos parâmetros de Cor ( $L^*$ ;  $a^*$ ;  $b^*$ ) pó de yacon atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.



Legenda: a) Diagrama de Pareto relacionado a Luminosidade  $L^*$ ; b) Diagrama de Pareto relacionado a Tonalidade  $a^*$ ; c) Diagrama de Pareto relacionado a Tonalidade  $b^*$

No entanto o aumento da temperatura de entrada de 110 a 150 ° C elevou os valores da tonalidade  $b^*$  dos pós produzidos com GA. Tal fator implica que a cor é influenciada por parâmetros do processo como temperatura de entrada, tipo e composição do transportador.

Outros estudos também perceberam a influência das condições do processo de microencapsulação por *Spray Dryer* sobre a mudança de cor. Santhalakshmy et al (2015), relataram que temperaturas maiores levaram à diminuição da cor, também um aumento nos valores de L do suco de frutas jamun em pó. Em outro estudo, Nadeem et al (2011) encapsularam em *Spray Dryer* extrato de chá de montanha com  $\beta$ -ciclodextrina, GA e MD em diferentes temperaturas (145, 155 e 165 ° C). No estudo citado foi percebido que o aumento da temperatura de entrada levou a uma diminuição no valor de L, ou seja, a cor dos pós ficaram um pouco mais escuras, além do aumento no valor da tonalidade b.

### 3.4 Análise das variáveis Compostos Fenólicos, Potencial Antioxidante e Viabilidade celular no extrato de yacon em pó inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.

Os resultados dos Compostos Fenólicos, Potencial Antioxidante e Viabilidade celular no extrato de yacon em pó inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10 do planejamento fatorial 2<sup>3</sup> estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Valores das respostas Compostos Fenólicos, Potencial Antioxidante e Viabilidade no extrato de yacon em pó inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.

Ensaio	Temperatura (°C)	Vazão (L/h)	Material de Parede	Fenólicos (mg/100g)	DPPH (%)	FRAP (mM/g de pó)	Viabilidade (log CFU/mL)
1	150 (+1)	0,72 (+1)	MD (+1)	197,5±3,53	Sem atividade	1167,23±5,45	7,658±0,007
2	150 (+1)	0,72 (+1)	GA (-1)	353,00±5,68	16,95±0,06	1567,22±3,78	8,365±0,034
3	150 (+1)	0,48 (-1)	MD (+1)	286,75±1,76	4,36±2,61	542,82±4,27	7,690±0,025
4	150 (+1)	0,48 (-1)	GA (-1)	474,00±7,81	20,59±2,89	2485,98±9,82	8,467±0,191
5	110 (-1)	0,72 (+1)	MD (+1)	153,00±7,07	6,98±1,18	1552,80±4,32	9,481±0,112
6	110 (-1)	0,72 (+1)	GA (-1)	473,50±2,83	34,11±0,16	505,68±8,52	9,930±0,064
7	110 (-1)	0,48 (-1)	MD (+1)	157,25±0,35	15,23±1,43	674,64±5,55	9,403±0,132
8	110 (-1)	0,48 (-1)	GA (-1)	438,75±3,89	32,80±3,02	407,63±7,38	9,813±0,072
9	130 (0)	0,60 (0)	MD/GA (0)	413,25±1,06	28,89±15,84	221,92±6,99	9,273±0,098
10	130 (0)	0,60 (0)	MD/GA (0)	319,00±1,41	23,74±2,18	364,23±4,56	9,733±0,016
11	130 (0)	0,60 (0)	MD/GA (0)	300,25±1,06	9,89±7,75	325,80±7,75	9,858±0,028

Os dados são expressos em média ± desvio padrão. T= temperatura de secagem; GA: Goma Arábica; MD: Maltodextrina. DPPH: atividade de eliminação de radicais DPPH; FRAP: Poder antioxidante redutor férrico.

#### 3.4.1 Compostos Fenólicos

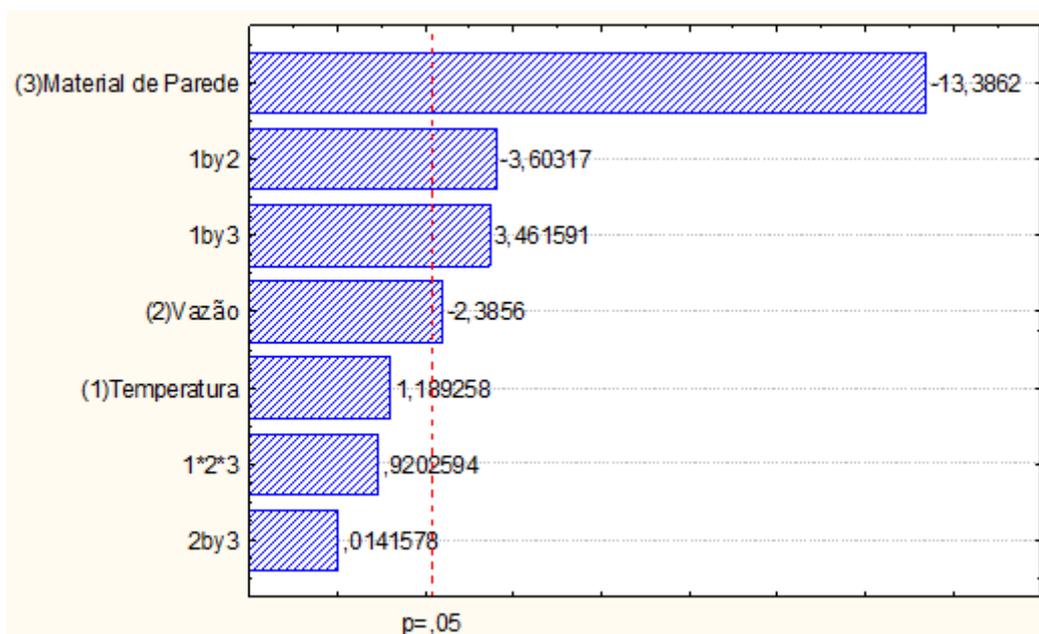
O conteúdo fenólico total é um dos índices mais importantes para avaliar a capacidade antioxidante de vários extratos vegetais (SARABANDI, et al., 2019).

Os maiores teores de fenólicos foram detectados nos ensaios microencapsulados com GA. A temperatura de 150 °C no ensaio 4 foi o maior valor, seguidos da temperatura de 110 °C dos ensaios 6 e 8 (Tabela 5).

Ao observar o diagrama de pareto na Figura 9, nota-se que o material de parede foi o fator mais relevante para a preservação dos compostos fenólicos nas microcápsulas.

A maltodextrina não contém compostos fenólicos e, portanto, não possui atividade antioxidante, ao contrário da goma arábica. Uma vez que a goma arábica é obtida a partir de troncos e galhos da árvore acácia, encontrados na África Subsaariana. Muitas árvores (troncos, folhas e casca) têm taninos que são moléculas de polifenol. O que pode valorizar o conteúdo de fenólicos presentes nas microcápsulas produzidas com goma arábica (ITURRI; CALADO; PRENTICE, 2021).

**Figura 9.** Diagrama de Pareto do teor de fenólicos totais (mg de EAG/g) de yacon atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.



A vazão influenciou o conteúdo de fenólicos presentes nas microcápsulas, ou seja, vazões maiores reduzem significativamente ( $p < 0,05$ ) o valor final de fenólicos. Algo esperado, uma vez que maiores vazões implicam em um menor tempo dentro da câmara de secagem produzindo microcápsulas com teores maiores de umidade. Isso aliado à estrutura semicristalina da matriz polimérica das

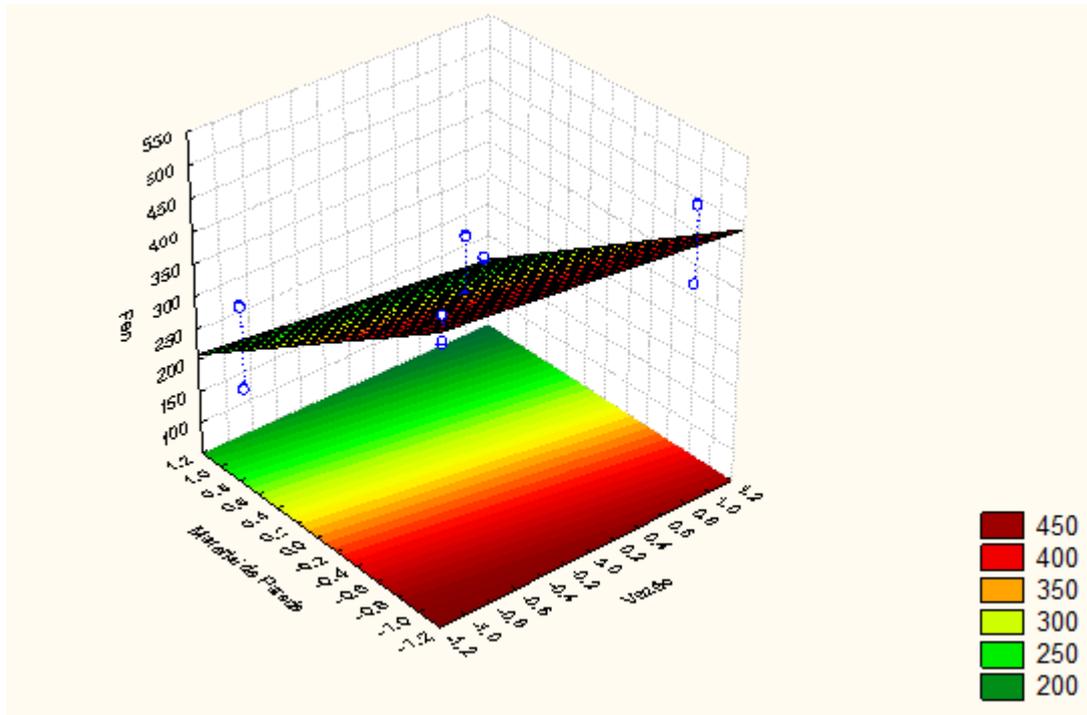
microcápsulas pode permitir uma maior mobilidade das moléculas de água presentes na superfície para canais internos, efeito que levar a mudanças estruturais e resultam em perdas significativas de compostos bioativos (Hoyos-Leyva et al., 2018).

Rocha et al (2019), formularam microencapsulados de misturas de extratos fenólicos de Jabuticaba, Jussara e Mirtilo por secagem por pulverização usando maltodextrina, goma arábica e concentrado de proteína de soro de leite como materiais de parede, e verificaram que devido a sua composição a goma arábica nas formulações foi mais eficiente para retenção de compostos fenólicos, seguida por maltodextrina e mistura dos três componentes, ao ser submetidas a uma temperatura de  $180 \pm 5$  °C.

Observa-se que os microencapsulados com GA associada com MD apresentam teor de fenólicos mais elevado do que os microencapsulados somente com MD, tendo em vista que concentrações maiores de GA resultam em microcápsulas com valores mais elevados de fenólicos (Figura 9). Tolun, Altintas e Artik (2016), ao analisarem os compostos fenólicos a partir de extrato do bagaço de uva, também encontraram a melhor proteção da blenda MD+GA aos compostos fenólicos quando comparada ao uso apenas da maltodextrina. Os autores relataram que as propriedades de emulsificação e criação de filmes da GA, em associação com a MD, melhoram a eficiência em retenção dos compostos fenólicos.

Na Figura 10 observa-se a superfie de resposta do Fenolico em relação ao material de parede e vazão.

**Figura 10.** Superfície de resposta dos compostos fenólicos em função do material de parede e da vazão (L/h) de yacon atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.



De acordo com a figura 10, na presença de maltodextrina, menor foi a concentração dos compostos fenólicos, no entanto quanto mais elevada a vazão maior a concentração. Sendo justificável, pois, há menos contato com o ar quente de secagem.

Daza et al (2017) ao microencapsularem extrato de fruto de Cagaita, obtiveram alta retenção de compostos bioativos, variando de 77,9 a 99,6% no caso de conteúdo fenólico total. Os pós obtidos com goma arábica apresentaram melhor retenção dos compostos bioativos, já que a goma arábica é uma substância altamente heteropolímero ramificado de açúcares, contendo uma pequena quantidade de proteína covalentemente ligada a cadeia de carboidratos, atuando como um excelente agente formador de filme e, assim, melhor aprisionando a molécula encapsulada (MAHDAVI et al., 2016).

### 3.4.2 Capacidade Antioxidante

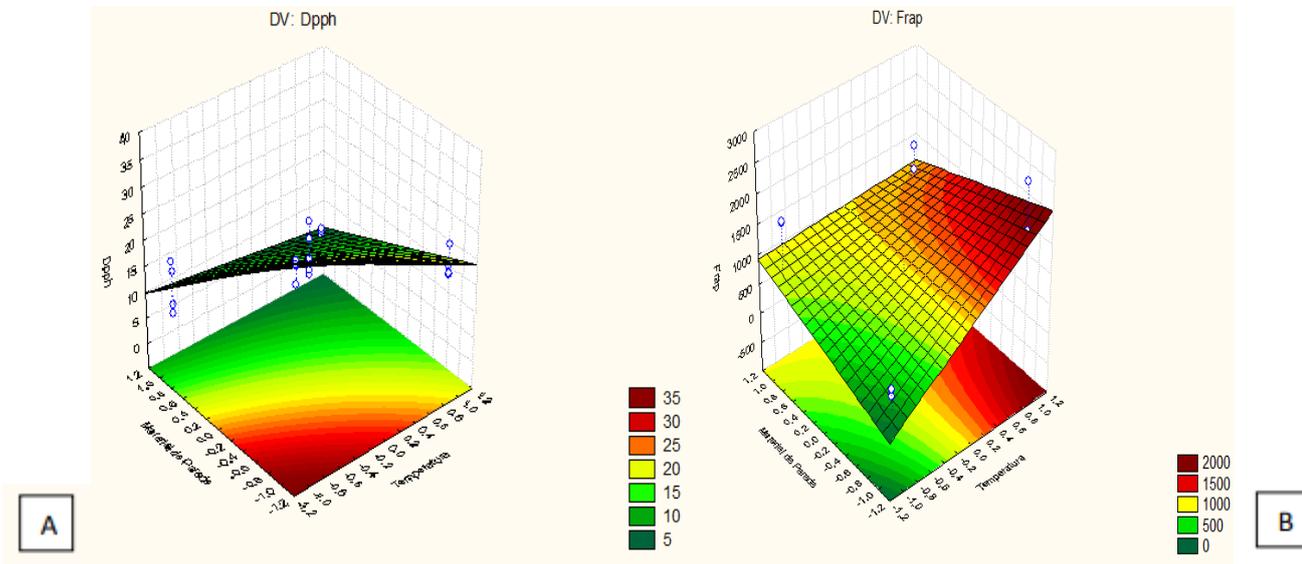
Os alimentos contêm muitos componentes antioxidantes que podem neutralizar os radicais livres, e vários métodos têm sido desenvolvidos para determinar seu potencial antioxidante. No entanto, para medir a atividade antioxidante de extratos alimentares, pelo menos dois sistemas de teste têm sido recomendados (RUFINO et al., 2010). Por esse motivo a análise da ação antioxidante do extrato atomizado de yacon microencapsulado com *L. acidophilus* LAFTI L10, foi mensurada quanto à capacidade de sequestrar o radical DPPH, que na presença de antioxidantes é degradado levando à redução da absorbância (LAJILI et al., 2016) e o FRAP para avaliar a capacidade de transferência de elétrons (BERNARDI et al., 2016).

As atividades antioxidantes dos pós de extrato de yacon microencapsulado com *L. acidophilus* LAFTI L10 foram determinadas pelos ensaios DPPH e FRAP, que variaram entre 16,95 e 34,11 $\mu$ M TE/g e 221,92 a 2485,98 $\mu$ M TE/g, respectivamente, (Tabela 5).

Em relação ao DPPH, a atividade antioxidante foi influenciada pela temperatura de secagem e pelo tipo material de parede. Os pós produzidos com GA apesar da temperatura elevada apresentaram maior atividade antioxidante que a MD, isso pode ser devido a composição do material de parede utilizado, proporcionando um efeito protetor. Para o teste de FRAP, apenas os ensaios 2 e 4 apresentaram maior atividade antioxidante da GA em relação ao MD, diferentemente ao encontrado pelo DPPH. Esses resultados evidenciam variabilidade, devido talvez à forma de extração ou incubação durante a reação de FolinCiocalteau, que tem importante influência na quantificação de compostos fenólicos totais.

Estudos evidenciam que a diminuição da capacidade antioxidante está relacionada com o tipo do material de parede (SILVA et al., 2014; SOUZA et al., 2014; VIDOVIC et al., 2014). A presença de goma arábica resultaram em maior DPPH (Figura 11 A), estando associado ao efeito protetor que o material de parede tem na atividade antioxidante. No presente estudo, a interação de maiores concentrações de maltodextrina e a temperatura mais elevada, resultaram em maior atividade antioxidante registrado pelo FRAP (Figura 11 B).

**Figura 11.** Superfície de resposta para atividade antioxidante DPPH (A) e FRAP (B) em função do material de parede (%) e da temperatura (°C) para o yacon atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.



Sarabandi et al (2019), obtiveram resultado diferente do presente estudo, quanto a atividade antioxidante através do DPPH, onde os pós produzidos com MD apresentaram maior atividade antioxidante que a GA com temperatura elevada de 170°C., no entanto, a substituição parcial ou completa de MD por GA reduziu a atividade antioxidante. Este fato pode ser atribuído a um melhor aprisionamento de polifenóis na estrutura MD do que GA.

Na Figura 11A, observa-se que em temperaturas elevadas, menor foi a atividade antioxidante. Segundo Medina-Torres (2016) esse comportamento é comum durante o processo de encapsulamento de compostos com capacidade antioxidante, pois o aumento da temperatura de entrada diminui significativamente a atividade de eliminação de radicais livres de DPPH da microcápsula.

De acordo com a Figura 11B, observa-se que a temperatura elevada e na presença de MD foram fatores que preservaram a atividade antioxidante. Um estudo realizado por Rezende, Nogueira, e Narain, (2018), ao analisarem a polpa de acerola e os extratos de seus resíduos, após a microencapsulação por spray,

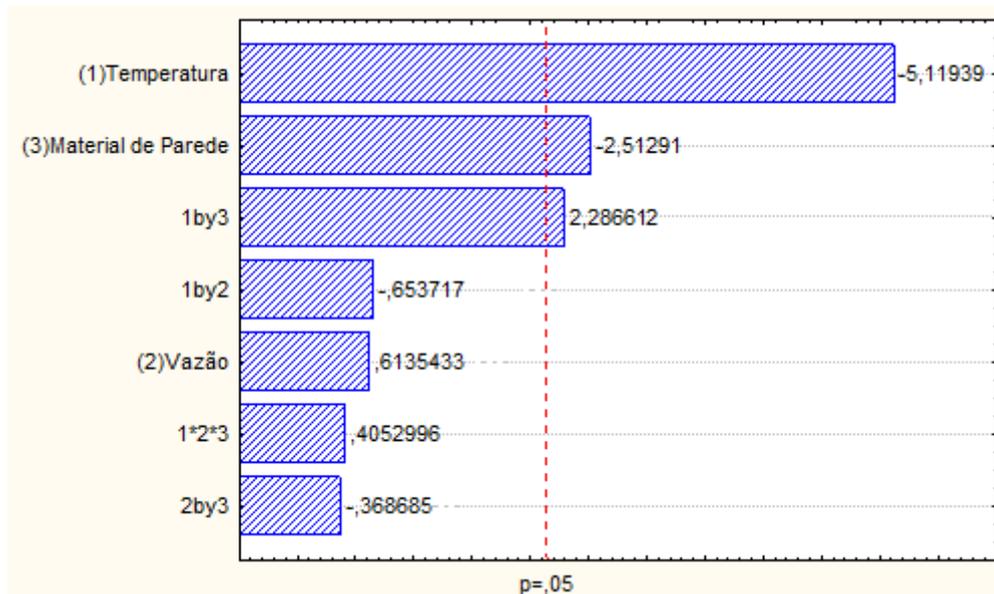
utilizando goma arábica e maltodextrina como agentes encapsulantes a uma temperatura de 170 °C observaram que o resultado de FRAP e ORAC apresentaram maior atividade antioxidante, em comparação com outros métodos analisados como o DPPH e ABTS. Esses resultados sugerem a importância do uso de diferentes testes para a determinação segura e conclusiva da atividade antioxidante, uma vez que cada método possui sua especificidade e atua em um determinado local de ação.

### 3.4.3 Viabilidade do pó probiótico após atomização.

A viabilidade das cepas diminuiu gradualmente de 9,97 para 7,65 log UFC / g (Tabela 5) com o aumento da temperatura de entrada do ar do *spray dryer*. Resultado semelhante ao presente estudo foi encontrado por AREPALLY e GOSWAMI (2018), ao analisar os efeitos da viabilidade pó probiótico microencapsulado por secagem por pulverização, onde a viabilidade das cepas diminuiu gradualmente de 9,97 para 7,3 log CFU / g ao aumentar a entrada temperatura de 130, 140 e 150 ° C.

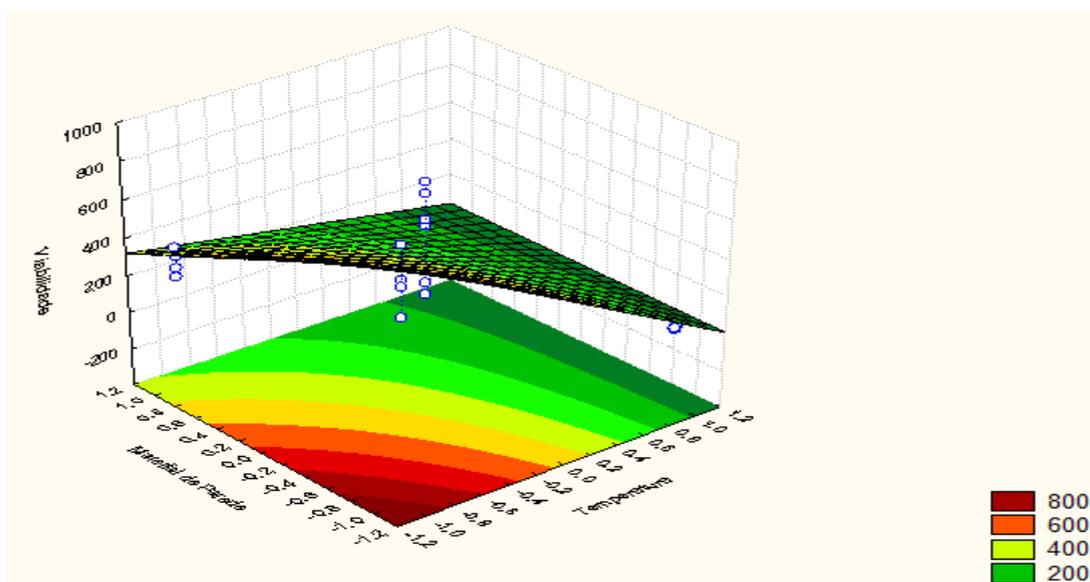
De acordo com o diagrama de pareto (Figura 12), observa-se que a viabilidade foi influenciada pela temperatura, material de parede e suas interações. Na presença de goma arábica favoreceu a viabilidade dos pós. Esse aumento pode estar relacionado a composição da GA, pois forma uma camada protetora de revestimento (AREPALLY e GOSWAMI, 2018).

**Figura 12.** Diagrama de Pareto da Viabilidade de *L. acidophilus* LAFTI L10 de yacon atomizado.



A Figura (13) mostra a superfície de resposta para a viabilidade em função do material de parede e temperatura. Observa-se que quanto maior a temperatura e a utilização da goma arábica menor será a viabilidade.

**Figura 13.** Superfície de resposta para viabilidade em função da concentração de material de parede (%) e da temperatura (°C) de yacon atomizado inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.



Essa diminuição da viabilidade pode estar relacionada a lesões celulares como desnaturação do DNA e RNA, desidratação das membranas citoplasmáticas, ruptura e colapso da membrana celular devido à remoção de água provocada pela alta temperatura (BEHBOUDI-JOBBEHDAR, et al., 2013).

Reyes et al (2018) ao estudarem a viabilidade de *L. acidophilus* NRRL B-4495 encapsulado com alto teor de amido, maltodextrina e goma arábica a uma temperatura de 140°C, observaram que após a atomização o GA foi o melhor agente protetor das células durante o processo de secagem.

A contagem inicial de bactérias viáveis para todos os ensaios foram semelhantes e estão dentro da faixa de 9,66-9,97 log UFC / g (Tabela 6).

**Tabela 6.** Efeito de variáveis independentes na eficiência do encapsulamento, do pó de yacon inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10.

Ensaio	T (°C)	Vazão (L/h)	Material de Parede	CI (log CFU/mL)	CF (log CFU/mL)	EE (%)
1	150 (+1)	0,72 (+1)	MD (+1)	9,68±0,04	7,65±0,00	79,04
2	150 (+1)	0,72 (+1)	GA (-1)	9,66±0,01	8,36±0,03	86,58
3	150 (+1)	0,48 (-1)	MD (+1)	9,81±0,03	7,69±0,02	78,37
4	150 (+1)	0,48 (-1)	GA (-1)	9,74±0,03	8,46±0,19	86,93
5	110 (-1)	0,72 (+1)	MD (+1)	9,81±0,01	9,48±0,11	96,59
6	110 (-1)	0,72 (+1)	GA (-1)	9,97±0,05	9,93±0,06	99,59
7	110 (-1)	0,48 (-1)	MD (+1)	9,62±0,08	9,40±0,13	97,69
8	110 (-1)	0,48 (-1)	GA (-1)	9,92±0,00	9,81±0,07	98,89
9	130 (0)	0,60 (0)	MD/GA (0)	9,76±0,05	9,27±0,09	94,96
10	130 (0)	0,60 (0)	MD/GA (0)	9,80±0,04	9,7330,01	99,23
11	130 (0)	0,60 (0)	MD/GA (0)	9,92±0,00	9,85±0,02	99,34

Os dados são expressos em média  $\pm$  desvio padrão. T= temperatura de secagem; GA: Goma Arábica; MD: Maltodextrina; CI= Contagem inicial; CF= contagem final; EE= Eficiência de encapsulamento.

A eficiência do encapsulamento (EE) variou entre 78,37 a 99,34%, significando que o produto apresentou-se microbiologicamente estável. A

diminuição da EE diminui com o aumento da temperatura de entrada, independente da variação da vazão utilizada enquanto é aumentada com a GA.

*Lactobacillus rhamnosus* foi encapsulado com amido de arroz nativo e inulina a diferentes temperaturas do ar de entrada de 135, 145 e 155 ° C. Foi obtida a eficiência máxima de encapsulamento de 74% com arroz nativo amido e 54% com inulina a 145 ° C (AVILA-REYES et al, 2014).

A utilização da GA aumenta a eficiência de encapsulamento, pois a presença da mesma forma uma camada protetora de revestimento na parede celular bacteriana, enquanto as fibras fornecem substituição parcial dos locais das moléculas de água nas células durante a secagem. Assim, a ruptura da membrana celular pode ser evitada durante a secagem, resultando em aumento de eficiência de encapsulamento (DIVYASREE, TRIDIB, 2019).

Estudo realizado por Rajam e Anandharamakrishnan (2015), apresentou eficiência de encapsulamento (70,77-72,82%) com fruto-oligossacarídeo e isolado de proteína de soro de leite. De Medeiros et al. (2014), obtiveram resultado semelhante ao presente estudo, em que o uso da GA aumentou a resistência de *Lactobacillus paracasei* NFBC 338 durante a secagem por pulverização.

### 3.6 Microscopia eletrônica de varredura

As amostras dos pós de yacon atomizados inoculados com *L. acidophilus* LAFTI L10 revestidas de MD, GA e MD+GA foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Figura 13). As amostras selecionadas foram os ensaios 5 (MD), 6 (GA) e 11 (MD+GA), que apresentaram melhores resultados quanto à eficiência de encapsulamento dentre os materiais de revestimento utilizados (Tabela 6), dos pós de yacon atomizados inoculados com *L. acidophilus* LAFTI L10. A análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma técnica muito utilizada para avaliar o perfil da superfície das micropartículas (PRAKASH et al., 2018).

Observa-se que, de modo geral, as partículas apresentaram formato esférico, levemente abauladas, íntegras e sem rachaduras, cuja aparência foi muito similar a de outras micropartículas obtidas por *spray drying* e relatadas por diversos autores (ALVIM et al., 2016; SANCHEZ-REINOSO, OSORIO, HERRERA, 2017; FADINI et al., 2018).

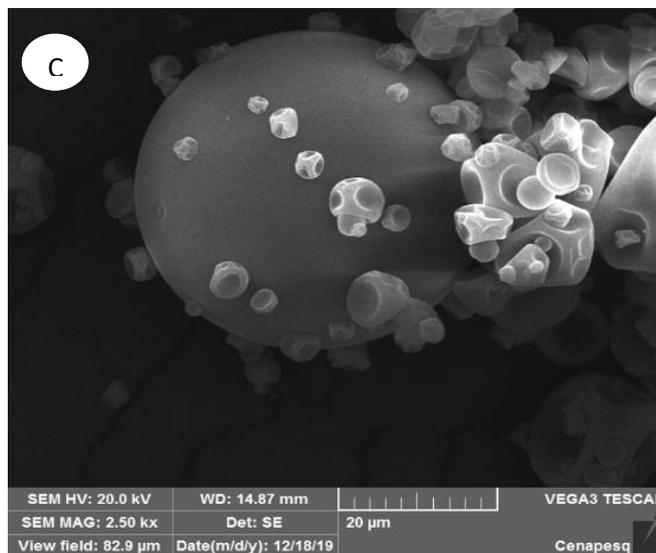
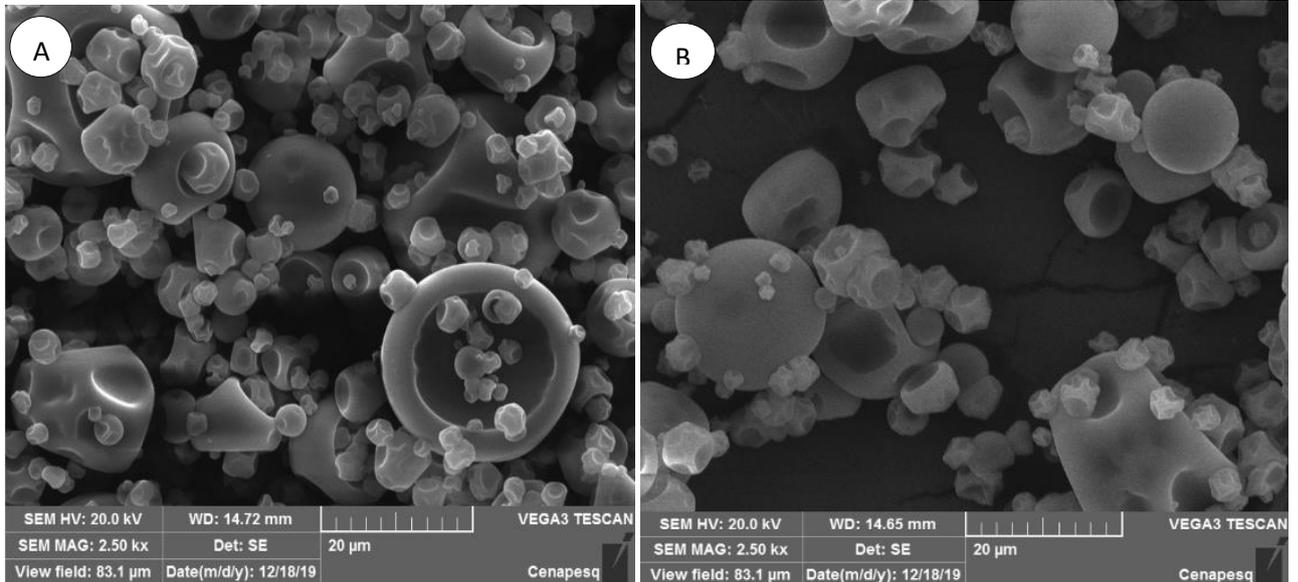
Os pós secos por *spray drying* tinham superfície sem fissuras mecânicas e presença de concavidades. Essas concavidades, provavelmente, foram o resultado da rápida evaporação do líquido atomizado em pequenas gotas durante a secagem por pulverização (FRITZEN-FREIRE et al., 2012).

Além disso, foi possível visualizar a presença de aglomeração de partículas menores aderidas a outras maiores. Nenhuma das micropartículas observadas neste estudo apresentou fissuras ou poros, o que é relevante para uma proteção adequada, garantindo a retenção do agente encapsulado, uma vez que a permeabilidade do ar é mínima (NUNES et al., 2018).

A aparência enrugada de algumas partículas pode, também, estar relacionada à formação mais lenta da camada de proteção durante a secagem das gotas atomizadas. Neste caso, a camada de proteção formada permanece úmida e flexível por mais tempo, de modo que a partícula possa se esvaziar e enrugar enquanto o vapor formado dentro da partícula se condensa, à medida que a partícula se move para as regiões mais frias do secador (DIAS et al., 2018).

Reys et al (2018) observaram que as partículas de pós com *L. acidophilus* encapsulados com GA apresentaram uma forma esférica geral com suavidade e retração em sua superfície, o que também foi encontrado em outros estudos usando a GA como material de parede para produção de pós probióticos secos por pulverização (GUERGOLETTO, BUSANELLO, GARCIA, 2017; KINGWATEE et al., 2015). Semelhantemente ao encontrado no presente estudo nas micropartículas obtidas como material de parede GA.

**Figura 14.** Imagens por Microscopia Eletrônica de Varredura do extrato de yacon microencapsulado com *L. acidophilus* LAFTI L10 por *spray drying* utilizando diferentes materiais de parede e temperaturas de secagem. (A) Maltodextrina (Ensaio 5); (B) Goma arábica (Ensaio 6); (C) Maltodextrina + Goma arábica (Ensaio 11). Ampliação 2500 vezes.



Fonte: Acervo Pessoal

#### 4 CONCLUSÃO

Os pós atomizados do extrato de yacon inoculado com *L. acidophilus* LAFTI L10, utilizando a maltodextrina e goma arábica como agentes encapsulantes, apresentaram boas características físico-químicas e eficiência da microencapsulação. Os ensaios que utilizaram a goma arábica apresentaram manutenção dos *Lactobacilos acidophilus* boa viabilidade celular, maior seqüestro de radical livre, melhor perfil na atividade antioxidante do DPPH e FRAP, mostrando ser uma técnica promissora para obtenção do extrato em pó, com potencial aplicação em alimentos, visando a elaboração de produtos com propriedades funcionais.

## 5 REFERÊNCIAS

A.O.A.C. (1980). Official methods of analysis. Washington: Sidney Willians

AOAC 2016. Official methods of analysis. Washington, DC: Association of Official Methods Analytical Chemists. 18ed. Gaithersburg, Maryland, 2016.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C., PADMA, I. S. Selection of wall material for encapsulation by spray drying. Spray drying techniques for food ingredient encapsulation. **Food Engineering**, p. 77–100, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS PARA FINS ESPECIAIS E CONGÊNERES (ABIAD), 2016. Disponível em << [https://aditivosingredientes.com.br/upload\\_arquivos/201603/20160305535500\\_01457550119.pdf](https://aditivosingredientes.com.br/upload_arquivos/201603/20160305535500_01457550119.pdf)>> Acesso em: 02/05/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS DIETÉTICOS E PARA FINS ESPECIAIS (ABIADFE). (2016). São Paulo: **Abiad**. Retrieved from, Disponível em <<[http:// www.abiad.org.br](http://www.abiad.org.br)>> Acesso em: 22/08/2020

AREPALLY, D., GOSWAMI, T. K. Effect of inlet air temperature and gum Arabic concentration on encapsulation of probiotics by spray drying **Food Science and Technology**, v.99, p. 583-593, 2018.

BERNARDI, D., M., PARI, L., D.; DIETERICH, F., SILVA, F., G., D., BOSCOLO, W., SARY, R., C., SIGNOR, A., BERTO, T., M., SGARBIERI, V., C. Production of hydrolysate from processed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) residues and assessment of its antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v.36, n.4, p. 709-716, 2016.

<http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.15216>

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 12, de 02/01/2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, p.45-53, 2001.

BOONCHU, T., UTAMA-ANG. N., Optimization of extraction and microencapsulation of bioactive compounds from red grape (*Vitis vinifera* L.) pomace. **Journal Food Science and Technology**, v.52, p.783–792, 2015.

BORA, A.F.M.; MA, S.; LI, X.; LIU, L. Application of microencapsulation for the safe delivery of green tea polyphenols in food systems: Review and recent advances. **Food Research International**, v. 105, p. 241-249, 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 12, de 02/01/2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 10 jan. Seção I, p.45-53, 2001.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVÉLIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Technology**, v.28, n.1, p.01–30, 1995.

doi:10.1016/s0023-6438(95)80008-5

CAETANO, B.F.R, DE Moura, N.A, ALMEIDA, A.P.S, DIAS, M.C, SIVIERI, K., BARBISAN, L.F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a food supplement: health-promoting benefits of fructooligosaccharides. **Nutrients**. 2016.

<https://doi.org/10.3390/nu8070436> .

CAI, Y.Z, CORKE H. Amaranthus betacyanin pigments applied in model food systems. **Journal Food Science**, v.64, p. 869-873, 1999.

CHEW, S. C., TAN., C. P., NYAM, K. L. . Microencapsulation of refined kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil by spray drying using  $\beta$  cyclodextrin /gumarabic/ sodium caseinate. **Journal of Food Engineering**, v.237; p. 78–85, 2018.

doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.05.016

DAZA, D., L., FUJITA, A., GRANATO, D., SILVIA, FAVARO-TRINDADE, C., S. GENOVESE, M., I. Functional properties of encapsulated Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extract. **Food Bioscience**, v.18, p. 15–21, 2017.

doi:10.1016/j.fbio.2017.03.003.

DELGADO, G. T. C., TAMASHIRO, W. M. S. C., MARÓSTICA, M. R. M. Jr., & PASTORE, G. M.. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): a functional food. **Plant Foods for Human Nutrition** (Dordrecht, Netherlands), v.68(3),p. 222-228, 2013.

DIAS, C. O.; DE ALMEIDA, J. DOS S. O.; PINTO, S. S.; SANTANA, F. C. DE O.; VERRUCK, S.; MÜLLER, C. M. O.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMBONI, R. D. DE M. C. Development and physico-chemical characterization of microencapsulated bifidobacteria in passion fruit juice: A functional non-dairy product for probiotic delivery. **Food Bioscience**, v. 24, p. 26–36, 2018.

DIONISIO, A. P., DE CARVALHO-SILVA, L. B., VIEIRA, N. M., Goes, T.S., WURLITZER, N. J., BORGES, M. F., BRITO, E. S., LONTA, M., FIGUEIREDO, R. W. Cashewapple (*Anacardium occidentale* L.) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) functional beverage improve the diabetic state in rats. **Food Research International**, v.77, p.171–176, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.020>

FARBESANI, E., GRANDE, M. V., COLLI ARÁOZ, M. V., ZANNIER, M. L., SÁNCHEZ, S. S., GRAU, A., HONORÉ, S. M. Metabolic effects of goat milk yogurt supplemented with yacon flour in rats on high-fat diet. **Journal of Functional Foods**, v.49,p. 447–457,2018.

GAGGIA, F.; MATTARELLI, P.; BIAVATI, B. Review Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. **International Journal of Food Microbiology**, v.141, p.15-28, 2010.

GOULA, A. M., ADAMOPOULOS, K. G.Effectofmaltodextrinadditionduring spray dryingoftomatopulp in dehumidifiedair: II. Powderproperties. **Drying Technology**, n.26, v.6, p.726-737, 2008.

doi:10.1080/07373930802046377

GOYAL, A., SHARMA, V., SIHAG, M.K., TOMAR, S.K., ARORA, S., SABIKHI, L., SINGH, A.K., Developmentandphysic chemical characterization of microencapsulated flaxseed oil powder: A functionalingredient for omega-3 fortification. **Powder Technology** . v. 286, p. 527-537, 2015.

GUERIN, J., PETIT, J., BURGAIN, J., BORGES, F., BHANDARI, B., PERROUD, C. Lactobacillus rhamnosus GG encapsulation by spray-drying: Milk proteins clotting control to produce innovative matrices. **Journal of Food Engineering**, v.193, p.10–19, 2017.

HABIB, N.C., HONORÉ, S.M., GENTA, S.B., SÁNCHEZ, S.S. Hypolipidemic effect of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots on diabetic rats: Biochemical approach. **Chemico-Biological Interactions**, v.194, p. 31-39, 2011.

HOYOS-LEYVA, J.D.; CHAVEZ-SALAZAR, A.; CASTELLANOS-GALEANO, F.; BELLO-PEREZ, L.A.; ALVAREZ-RAMIREZ, J.. Physical and chemical stability of L-ascorbic acid microencapsulated into taro starch spherical aggregates by spray drying. **Food Hydrocolloids**, v. 83, p. 143-152, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.002>.

IGUAL, M.; RAMIRES, S.; MOSQUERA, L. H.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. **Powder Technology**, v. 256, p. 233–238, 2014.

ITURRI, M. S., CALADO, C. M. B.; PRENTICE, C. Microparticles of *Eugenia stipitata* pulp obtained by spray-drying guided by DSC: an analysis of bioactivity and in vitro gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, v.334, p. 127-557, 2021.

JANISZEWSKA-TURAK, E., DELLAROSA, N., TYLEWICZ, U., LAGHI, L., ROMANI, S., DALLA ROSA, M., WITROWA-RAJCHERT, D. . The influence of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. **Food Chemistry**, v. 236, p.134-141, 2017.

[doi:10.1016/j.foodchem.2017.03.134](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.134)

KHA, T. C., NGUYEN, M. H., ROACH, P. D., Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit powder. **Journal of Food Engineering**, p.98, v.385–392, 2010.

KHASAEI, K. M., JAFARI, S. M., GHORBANI, M., KAKHAKI, A. H. Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. **Carbohydrate Polymers**, v.105, p. 57–62, 2014.

KINGWATEE, N., APICHARTSRANGKON, A., CHAIKHAM, P., WORAMETRACHANON, S., TECHARUNG, J., PANKASEMSUK, T. Spray drying *Lactobacillus casei* 01 in lychee juice varied carrier materials. **LWT - Food Science and Technology**, v.62, p.847-853, 2015.

KUMAR, L. R., CHATTERJEE, N. S., TEJPAL, C. S., VISHNU, K. V., ANAS, K. K., ASHA, K. K. . Evaluation of chitosan as a wall material for microencapsulation of squalene by spray drying: Characterization and oxidative stability studies. **International Journal of Biological Macromolecules**, 104, 1986–1995, 2017.

LAJILI, S.; AZOUAOU, S. A.; TURKI, M.; MULLER, C. D.; BOURAOU, A. Anti-inflammatory, analgesic activities and gastro-protective effects of the phenolic contents of the red alga, *Laurencia obtusa*. **European Journal of Integrative Medicine**, v. 8, n. 3, p. 298-306, 2016.

.LAGO, B. C. C; NOREÑA, C.P.Z. Thermodynamic analysis of sorption isotherms of dehydrated yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food Bioscience** v.12, p. 26–33, 2015.

LEONE, R.S., ANDRADE, E.R., ELLENDERSEN, L.N., CUNHA, A.T., MARTINS, A. M.C., GRANATO, D., MASSON, M.L. Evaluation of dried yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as an efficient probiotic carrier of *Lactobacillus casei* LC-01. **Food Science and Technology**. v. 75, p. 220-226, 2017.

LIU, H., GONG, J., CHABOT, D., MILLER, S. S., CUI, S. W., MA, J. Incorporation of polysaccharides into sodium caseinate-low melting point fat microparticles improves

probiotic bacterial survival during simulated gastrointestinal digestion and storage. **Food Hydrocolloids**, v.54, p.328–337, 2016.

MAHDAVI, S. A., JAFARI, S. M., ASSADPOUR, E., GHORBANI, M. Storage stability of encapsulated barberry's anthocyanin and its application in jelly formulation. **Journal of Food Engineering**, v.181, p.59-66, 2016.

MAHDI, A. A., MOHAMMED, J. K., AL-ANSI, W., GHALEB, A. D. S., Al-Maqtari, Q. A., Ma, M., ... Wang, H. . Microencapsulation of Fingered citron extract with gum arabic, modified starch, whey protein, and maltodextrin using spray drying. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.152, p. 1125-1134, 2019.

doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.10.201

MAZUMDER, Md., A., R., RANGANATHAN, T., V. Encapsulation of isoflavone with milk, maltodextrin and gum acacia improves its stability. **Current Research in Food Science**, v. 2, p. 77-83, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2019.12.003>

MEDINA-TORRES, L. SANTIAGO-ADAME, R.; CALDERAS, F.; GALLEGOS-INFANTE, J.A.; GONZÁLEZ-LAREDO, R.F.; ROCHA-GUZMÁN, N.E.; NÚÑEZ-RAMÍREZ, D.M.; BERNAD-BERNADA, M.J.; MANERO, O. Microencapsulation by spray drying of laurel infusions (*Litsea glaucescens*) with maltodextrin. **Industrial Crops and Products**, v. 90, p. 1-8, 2016.

MISHRA, P.; BRAHMA, A.; SETH, D. Physicochemical, functionality and storage stability of hogplum (*Spondiapinnata*) juice powder produced by spray drying. **Journal Food Science Technology**, v. 54, p. 1052-1061, 2017.

MURIKIPUDI, V., GUPTA, P., SIHORKAR, V., Efficient through put method for hygroscopicity classification of active and inactive pharmaceutical ingredients by water vapor sorption analysis. **Pharmaceutical Development and Technology** .n.18, v. 2, p. 348–358, 2013.

NADEEM, H.Ş., TORUN, M., ÖZDEMİR, F., Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers, **Food Science and Technology**, v.44, p.1626–1635, 2011.

OLIVEIRA, R.P.S., PEREGO, P., OLIVEIRA, M.N., CONVERTI, A. Effect of inulin as a prebiotic to improve growth and counts of a probiotic cocktail in fermented skim Milk. **LWT- Food Science and Technology**, v. 44, p. 520-523, 2011.

OLIVEIRA, G., BRAGA, C., FERNANDES, A. Improvement of biochemical parameters in type 1 diabetic rats after the roots aqueous extract of yacon [*Smallanthus sonchifolius* –folius] treatment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 59, p.256-260, 2013.

OLIVEIRA, L. F., CORREA, J. F. G., PEREIRA, M. C. a., RAMOS, A. L. S., & VILELA, M. B.. Osmotic dehydration of yacon (*Smallanthus sonchifolius*): optimization for fructan retention. **LWT - Food Science and Technology**, v.71, p.77-87, 2016.

OLIVEIRA, P.M., COELHO, R.P., PILAR, B.C., GOLKE, A. M., GÜLLICH, A.A., MAURER, P., MANFREDINI, V. Antioxidative properties of 14-day supplementation with Yacon leaf extract in a hypercholesterolemic rat model. **Brazilian journal of Biosciences**, v. 15, n.4, p.178-186, 2017.

PAULO, F. SANTOS, L. Design of experiments for microencapsulation applications: A review. **Materials Science and Engineering**, v. 77, p.1327-1340, 2017.

PAULY-SILVEIRA N.D., BEDANI, R., CAVALLINI, D.C.U., MANZONI, M.S.J., MIGUEL, P.M., BORSATO, D., ROSSI, E. Optimization of a synbiotic formulation of soy yoghurt containing yacon extract by response surface methodology. **International Journal of Probiotics and Prebiotics**, v.5, n.4, p. 211-216, 2010.

PEANPARKDEE, M., IWAMOTO, S., YAMAUCHI, R. Microencapsulation: A review of applications in the food and pharmaceutical industries. **Reviews in Agricultural Science**, v.4, p.56-65, 2016.

PREMI, M., SHARMA, H. K. Effect of different combinations of maltodextrin, gum arabic and whey protein concentrate on the encapsulation behavior and oxidative

stability of spray dried drumstick (*Moringa oleifera*) oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.105, p.1232–1240, 2017.

doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.07.160

REYES, V., CHOTIKO, A., CHOULJENKO, A. SATHIVEL, S. Viability of *Lactobacillus acidophilus* NRRL B-4495 encapsulated with high maize starch, maltodextrin and gum arabic. **Food Science and Technology**, v.96, p.642-647, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.017>

RODRIGUEZ-HERNANDEZ, G. R.; GONZALEZ-GARCIA, R.; GRAZALESLAGUNES, A.; RUIZ-CABRERA, M. A.; ABUD-ARCHILA, M. Spray drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of the powder and reconstituted product. **Drying Technology**, v.23, p.955–973, 2005.

RUFINO, M. S. M., ALVES, R. E., BRITO, E. S., PÉREZ-JIMÉNEZ, J., SAURACALIXTO, F., MANCINIFILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 nontraditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v.121, p.996–1002, 2010.

SANTOS, A.M.P.; SANTOS, E.J.P. Pre-heating temperature dependence of the c-axis orientation of ZnO thin films. **Thin Solid Films**, v. 516, n. 18, p. 6210-6214, 2008.

SARABANDI, K., JAFARI, S. M., MAHOONAK, A. S., MOHAMMADI, A. Application of gum Arabic and maltodextrin for encapsulation of eggplant peel extract as a natural antioxidant and color source. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.140, p.59–68, 2019.

SHI, Q.; ZHENG, Y.; ZHAO, Y. Mathematical modeling on thin-layer heat pump drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices. **Energy Conversion and Management**, v.71, p.208-216, 2013.

SHISHIR, M.R.I.; CHEN, W. Trends of spray drying: a critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science and Technology**, p. 49-67. 2017.

SOUZA, V. B.d., FUJITA, A., THOMAZINI, M., DA SILVA, E. R., LUCON, J., F.,J., GENOVESE, M. I., FAVARO-TRINDADE, C. S. . Functional properties and stability of spray-dried pigments from Bordo grape (*Vitis labrusca*) winemaking pomace. **Food Chemistry**, 164, 380-386, 2014.

SOSNIK, A.; SEREMETA, K. P. Advantages and challenges of the spray-drying technology for the production of pure drug particles and drug-loaded polymeric carriers. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 223, p. 40–54, 2015.

TAO, T. , DING, Z. HOU. D. PRAKASH, S., ZHAO, Y. , FAN, Z., ZHANG. D., WANG, Z., LIU, M. HAN, J. Influence of polysaccharide as co encapsulant on powder characteristics, survival and viability of microencapsulated *Lactobacillus paracasei* Lpc-37 by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 252., p. 10-17, 2019

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.009>

THAIPONG, K., BOONPRAKOB, U., CROSBY, K., CISNEROS-ZEVALLOS, L., BYRNE, D.H. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC Assays for Estimating Antioxidant Activity from Guava Fruit Extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.19, p. 669-675, 2006.

TONON, R.V., C. BRABET, M.D. HUBINGER, Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying, **Journal of Food Engineering**, v.88, p.411–418, 2008.

TONON, R. V., BRABET, C., PALLET, D., BRAT, P., HUBINGER, M. D. Physico chemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. **International Journal of Food Science and Technology**, v.44, n.10, p.1950-1958, 2009.

TONON, R.V., BRABET, C., HUBINGER, M.D., Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying, **Journal Food Engineering**, v.88, p. 411–418, 2008.

TONON, R. V.; FREITAS, S. S.; HUBINGER, M. D.; Spray drying of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) juice: effect of inlet air temperature and type of carrier agent. **Journal of Food Processing and Preservation**. v. 35, p. 691–700, 2011.

doi:10.1111/j.1365-2621.2009.02012.x

TOLUN, A., ALTINTAS, Z., ARTIK, N. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum Arabic as two alternative coating materials: Development and characterization, **Journal of Biotechnology**, v.239, p.23–33, 2016.

VALCHEVA, R.; DIELEMAN, L. Prebiotics: Definition and protective Mechanisms. **Best Practice & Research Clinical Gastroenterology**, v.30, p.27-37, 2016.

VANDERZANT C; SPLITTSTOESSER DF. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. Washington: American Public Health Association, p.1219, 1992.

VIERNSTEIN, H., RAFFALT, J., POLHEIM, D. Stabilisation of probiotic microorganisms Applications of Cell Immobilisation Biotechnology. **Springer**, v. p.439-453; 2005.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION (2001), p. 213 Disponível em <<<http://whqlibdoc.who.int/publications/2001/924154550x.pdf>>>Acesso em: [18/02/2020](#)

ZHANG, C., KHOO, S., L., A., CHEN, X., D., QUEK, S. Y. Microencapsulation of fermented no nijuce via micro-fluidic-jet spray drying: Evaluation of powder properties and functionalities. **Powder Technology**, v.361, p.995-1005, 2020.

doi:10.1016/j.powtec.2019.10.098

SANTHALAKSMY, S. 2015. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried *jamun* fruit juice powder. **Powder Technology**. v.274:p. 37–43, 2015.

SANTIVARANGKNA, C., KULOZIK, U., FOERST, P., Effect of carbohydrates on the survival of *Lactobacillus helveticus* during vacuum drying. **Letters in Applied Microbiology**, v.42, n.3, p.271-276, 2006.

DOI: [10.1111/j.1472-765X.2005.01835.x](https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2005.01835.x)