

## **Aplicação de prebióticos em iogurte tipo grego desnatado: avaliação físico-química, texturométrica e sensorial**

**Application of prebiotics in fat free Greek yogurt: physicochemical, texturometric and sensory evaluation**

**Aplicación de prebióticos en yogur griego desnatado: evaluación fisicoquímica, texturométrica y sensorial**

Recebido: 12/02/2022 | Revisado: 21/02/2022 | Aceito: 26/02/2022 | Publicado: 08/03/2022

### **Daiane Martins Leal**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3308-4525>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: [daiane.leal@ufvjm.edu.br](mailto:daiane.leal@ufvjm.edu.br)

### **Isabela Cristina Pascoal Reis**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5535-7750>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: [isabelacristinapascoal@gmail.com](mailto:isabelacristinapascoal@gmail.com)

### **Renata Alves Costa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8089-6959>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: [renata.alves@ufvjm.edu.br](mailto:renata.alves@ufvjm.edu.br)

### **Keyla Carvalho Pereira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1592-5105>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: [keyla.carvalho@ict.ufvjm.edu.br](mailto:keyla.carvalho@ict.ufvjm.edu.br)

### **Marcio Schmiele**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8830-1710>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: [marcio.sc@ict.ufvjm.edu.br](mailto:marcio.sc@ict.ufvjm.edu.br)

### **Larissa de Oliveira Ferreira Rocha**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6321-3546>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: [larissa.rocha@ict.ufvjm.edu.br](mailto:larissa.rocha@ict.ufvjm.edu.br)

### **Resumo**

O iogurte é um dos produtos lácteos fermentados mais populares e um excelente veículo para a entrega de ingredientes funcionais, como os prebióticos. Em iogurtes, os prebióticos podem atuar como substrato para o crescimento da microbiota intestinal melhorando as funções gastrointestinais e o sistema imunológico. Diante deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da adição de três prebióticos como lactulose, dextrina resistente e fruto-oligossacarídeos até a concentração de 5 %, nas características físico-químicas, texturométricas e sensoriais do iogurte tipo grego através de um Planejamento de Mistura Simplex-Lattice. As variáveis dependentes estudadas foram: extrato seco, acidez titulável total, pH, firmeza e aceitação. Através da metodologia de Superfície de Resposta, observou-se que as variáveis independentes apresentaram efeitos estatisticamente significativos ( $p < 0,10$ ) para extrato seco, textura e aceitação. As variáveis independentes não influenciaram na acidez e no pH. O extrato seco e a firmeza dos iogurtes foram menores quando da utilização de maior concentração de lactulose. Em contrapartida, os iogurtes com maior concentração de lactulose receberam as maiores notas para aceitação. A formulação otimizada foi obtida com 5 % de lactulose, 0 % de dextrina resistente e 0 % de fruto-oligossacarídeos com uma probabilidade de sucesso de 98,21 %. Considerando o ponto otimizado, uma porção de 120 g de iogurte grego irá conter a quantidade de lactulose recomendada pela Anvisa, a qual é de 3,0 g por porção.

**Palavras-chave:** Lactulose; Dextrina resistente; Fruto-Oligossacarídeos; Leites fermentados.

### **Abstract**

Yogurt is one of the most popular fermented dairy products and an excellent vehicle for delivering functional ingredients such as prebiotics. In yogurts, prebiotics can act as a substrate for the growth of the intestinal microbiota, improving gastrointestinal functions and the immune system. Given this context, the present work aimed to evaluate the influence of the addition of three prebiotics such as lactulose, resistant dextrin and fructo-oligosaccharides up to a concentration of 5 %, on the physicochemical, texturometric and sensorial characteristics of Greek yogurt through a

Simplex-Lattice Mix Planning. The dependent variables studied were: dry extract, total titratable acidity, pH, firmness and acceptance. Through the Response Surface methodology, it was observed that the independent variables showed statistically significant effects ( $p < 0.10$ ) for dry extract, texture and acceptance. The independent variables did not influence acidity and pH. The dry extract and the firmness of the yogurts were lower when using a higher concentration of lactulose. In contrast, yogurts with the highest concentration of lactulose received the highest acceptance scores. The optimized formulation was obtained with 5 % lactulose, 0 % resistant dextrin and 0 % fructo-oligosaccharides with a success probability of 98.21 %. Considering the optimal point, a serving of 120 g of Greek yogurt will contain the amount of lactulose recommended by Anvisa, which is 3.0 g per serving.

**Keywords:** Lactulose; Resistant dextrin; Fructo-Oligosaccharides; Fermented milk.

### Resumen

El yogur es uno de los productos lácteos fermentados más populares y un excelente vehículo para la entrega de ingredientes funcionales como los prebióticos. En los yogures, los prebióticos pueden actuar como sustrato para el crecimiento de la microbiota intestinal, mejorando las funciones gastrointestinales y el sistema inmunitario. Ante este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la influencia de la adición de tres prebióticos como son lactulosa, dextrina resistente y fructo-oligosacáridos hasta una concentración del 5%, sobre las características fisicoquímicas, textuométricas y sensoriales del yogur griego a través de un Mix Planificación Simplex-Lattice. Las variables dependientes estudiadas fueron: extracto seco, acidez total titulable, pH, firmeza y aceptación. Mediante la metodología de Superficie de Respuesta se observó que las variables independientes mostraron efectos estadísticamente significativos ( $p < 0.10$ ) para extracto seco, textura y aceptación. Las variables independientes no influyeron en la acidez y el pH. El extracto seco y la firmeza de los yogures fueron menores al utilizar una mayor concentración de lactulosa. Por el contrario, los yogures con la mayor concentración de lactulosa recibieron las puntuaciones de aceptación más altas. La formulación optimizada se obtuvo con 5 % de lactulosa, 0 % dextrina resistente y 0 % de fructooligosacáridos con una probabilidad de éxito del 98,21 %. Considerando el punto óptimo, una porción de 120 g de yogur griego contendrá la cantidad de lactulosa recomendada por Anvisa, que es de 3,0 g por porción.

**Palabras clave:** Lactulosa; Dextrina resistente; Fructooligosacáridos; Leches fermentadas; Fermented milks.

## 1. Introdução

Os oligossacarídeos funcionais são compostos não digeríveis pelas enzimas digestivas do intestino delgado e atingem o intestino grosso (cólon), onde atuam como um fator de crescimento (prebióticos) para aumentar o crescimento de bactérias benéficas (probióticos) e inibir bactérias patogênicas no cólon por meio de exclusão competitiva (Ibrahim, 2018).

Segundo Slavin (2013), prebióticos são nutrientes não digeríveis que promovem seletivamente o crescimento de micro-organismos intestinais normais benéficos (microbiota). A fermentação dos prebióticos pela microbiota intestinal produz ácidos graxos de cadeia curta (SCFAs), incluindo ácido lático, ácido butírico e ácido propiônico. Esses produtos podem ter vários efeitos benéficos no corpo. Oligossacarídeos funcionais auxiliam na regulação da homeostase intestinal, favorecendo o sistema imunológico, prevenindo a inflamação intestinal crônica e amenizando a constipação e a síndrome do intestino irritável. Além dos efeitos fisiológicos, a aplicação de alguns prebióticos podem melhorar características tecnológicas (maciez, maleabilidade, atividade de água, viscosidade) e propriedades sensoriais (Zhang, et al., 2022).

Stowell (2007) analisou os prebióticos existentes e os classificou com base em um conjunto de critérios comuns. Inulina, fruto-oligosacarídeos (FOS), galacto-oligosacarídeos (GOS), lactulose e polidextose são reconhecidos como os prebióticos estabelecidos, enquanto isomalto-oligosacarídeos (IMO), xilo-oligosacarídeos (XOS) e lactitol são categorizados como prebióticos emergentes. Manitol, maltodextrina, rafinose, lactulose e sorbitol também são prebióticos com propriedades comprovadas para a saúde (Mandal, et al., 2009; Yeo & Liong, 2010; Vamanu & Vamanu, 2010). Grãos inteiros ricos em amido resistente são considerados prebióticos por natureza e presumem que seu consumo traz muitos benefícios à saúde (Vaidya & Sheth, 2010).

A dextrina resistente é um polímero de glicose derivado do amido e apresenta propriedades funcionais semelhantes às fibras dietéticas e os prebióticos (Mateo-Gallego, et al., 2020; Kapusniak & Nebesny, 2017). Além de várias funções fisiológicas, a dextrina resistente solúvel possui excelente desempenho de processamento caracterizado por sua grande

resistência a ácidos, álcalis e altas temperaturas. Estudos têm demonstrado a aplicação de dextrina resistente em bebidas (Kapusniak & Nebesny, 2017), cerveja sem álcool (Mateo-Gallego, et al., 2020) e pães (Huang, et al., 2020).

Os fruto-oligossacarídeos são compostos por oligômeros de frutose. Podem ser obtidos por síntese enzimática ou por hidrólise de inulina de fontes naturais (Flores-Maltos, et al., 2014; Rodrigues Mano, et al., 2017; Martins, et al., 2019). Os FOS são ingredientes alimentares ideais para a indústria de alimentos, pois apresentam inúmeras propriedades tecnológicas interessantes como resistência a processos térmicos (pasteurização); isento de calorias (1-1,5 kcal por grama); não cariogênico; não cristaliza, não precipita e não deixa sabor residual (Rosa & Cruz, 2017).

A lactulose é um dissacarídeo composto de galactose e frutose obtida através da isomerização da lactose. É considerado um carboidrato prebiótico, que promove a atividade de bactérias promotoras da saúde no trato gastrointestinal. Ao mesmo tempo, também pode impedir o crescimento de bactérias patogênicas. Sua alta termoestabilidade em condições ácidas é considerada uma de suas características mais vantajosas e permite sua utilização em alimentos ácidos (Seki & Saito, 2012; Nooshkam & Madadlou, 2016; Karim & Aider, 2022).

Fruto-oligossacarídeos (FOS) (Mishra & Mishra, 2013; Shireesha, et al., 2014; Delgado-Fernández, et al., 2019; Li, et al., 2020) e lactulose (Oliveira, et al., 2011; Aghajani, et al., 2014; Delgado-Fernández, et al., 2019; Delgado-Fernández, et al., 2020a; Delgado-Fernández, et al., 2020b), têm sido utilizados na fabricação de iogurtes e outros leites fermentados.

Como o iogurte é um produto lácteo com grande aceitabilidade pelos consumidores e seu consumo é considerado um hábito saudável pela maioria da população, a inclusão de ingredientes com características funcionais é facilitada. O iogurte é o produto obtido pela fermentação do leite com cultivos protosimbióticos de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (Brasil, 2007). Dentre os diferentes tipos de iogurte, recebe destaque o iogurte concentrado, devido ao maior teor de proteína. O iogurte concentrado recebe nomes diferenciados de acordo com sua origem, como labneh (Leste), skyr (Islândia), shrikhand (Índia) e iogurte grego (Costa, et al., 2019; Muniz Pereira, et al., 2021).

Como não existe um padrão de identidade para iogurtes gregos, eles podem ser feitos por uma variedade de métodos. Os métodos modernos de fabricação incluem o uso de centrifugação e ultrafiltração para concentração dos sólidos do iogurte, mas o iogurte grego também pode ser fabricado com a adição de proteínas lácteas e hidrocolóides para fornecer uma textura espessa; sendo referido como iogurte fortificado ou tipo grego quando fabricado usando esta abordagem (Desai, et al., 2013).

Além da busca por iogurtes com maior teor de proteína, o interesse por iogurtes com teor reduzido em gordura é um fator decisivo de compra (Desai et al. 2013). No entanto, o iogurte desnatado, pode ter sua qualidade comprometida devido à redução da gordura, a qual contribui para a textura, aparência e sabor (Vital, et al., 2020).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi investigar o efeito de prebióticos nos parâmetros físico-químicos, de textura e na aceitação sensorial do iogurte tipo grego desnatado.

## 2. Metodologia

### 2.1 Matérias-primas e ingredientes

Utilizou-se no desenvolvimento do iogurte: leite desnatado UHT; concentrado proteico de leite 70% (fornecido pela Fermentech®), dextrina resistente, lactulose, fruto-oligossacarídeos, sacarose; estabilizante para iogurte à base de gelatina e amido modificado e cultura láctica tradicional YoFlex Mild 1.0 (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*) da Chr. Hansen®.

A lactulose utilizada foi na forma de xarope, com uma composição de 66,7% de lactulose. A dextrina resistente foi utilizada na forma de pó, composto por uma fibra dietética solúvel proveniente do amido de milho. O fruto-oligossacarídeo também foi adquirido e utilizado na forma de pó composto por fruto-oligossacarídeos de cadeia curta consistindo de moléculas GF2, GF3 e GF4.

## 2.2 Planejamento experimental

A Metodologia de Superfície de Resposta foi adotada como estratégia experimental através da aplicação de um planejamento de Misturas Simplex-Lattice (Tabela 1), onde as variáveis independentes avaliadas foram as concentrações da mistura de prebióticos: lactulose ( $x_1$ ), dextrina resistente ( $x_2$ ) e fruto-oligossacarídeos (FOS) ( $x_3$ ), a serem adicionadas na formulação padrão de “iogurte grego”.

**Tabela 1** - Planejamento de Misturas Simplex-Lattice com os níveis codificados e reais para as variáveis independentes empregadas na elaboração do “iogurte grego”.

Ensaio	Variáveis codificadas			Variáveis reais		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$X_1(\%)$	$X_2(\%)$	$X_3(\%)$
1	1.00	0.00	0.00	5,00	0,00	0,00
2	0.00	1.00	0.00	0,00	5,00	0,00
3	0.00	0.00	1.00	0,00	0,00	5,00
4	0.50	0.50	0.00	2,50	2,50	0,00
5	0.50	0.00	0.50	2,50	0,00	2,50
6	0.00	0.50	0.50	0,00	2,50	2,50
7	0.33	0.33	0.33	1,66	1,66	1,66

$X_1$  = porcentagem de lactulose;  $X_2$  = porcentagem de dextrina resistente;  $X_3$  = porcentagem de fruto-oligossacarídeos. Fonte: Autores (2022).

## 2.3 Elaboração do iogurte

O processo iniciou-se pela dissolução da sacarose, concentrado proteico de leite e prebióticos ao leite UHT desnatado. Em seguida realizou-se um tratamento térmico em banho-maria a 85°C durante 30 minutos. A mistura foi resfriada até atingir 42°C para inoculação da cultura láctica (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*). As amostras foram incubadas em estufa a 42°C até que fosse atingido o pH 4,6 - 4,5. Posteriormente as amostras foram resfriadas a 5°C.

## 2.4 Métodos Analíticos

### 2.4.1 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia, no prédio da Nutrição da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

A qualidade sanitária dos iogurtes foi avaliada conforme parâmetros descritos na Resolução - RDC nº 331, de 23 de dezembro de 2019 (Brasil, 2019b) e Instrução Normativa – IN nº 60, de 23 de dezembro de 2019 (Brasil, 2019a), para *Salmonella* spp, bolores e leveduras e *E. coli*.

A população de Bolores e Leveduras foi determinada utilizando-se o método rápido Compact Dry YM (AOAC 100401), *Escherichia coli* foi determinada utilizando-se o método rápido Compact Dry EC (AOAC 110402) e a detecção de *Salmonella* spp. foi realizada com o método rápido Compact Dry SL. Ambas as análises foram executadas conforme Silva, et al. (2017).

### 2.4.2 Extrato seco total, acidez titulável total e pH

As análises físico-químicas foram realizadas no Bloco de Laboratórios da Engenharia de Alimentos, no prédio da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

A determinação do extrato seco total foi realizada pelo método gravimétrico, através da secagem da amostra em areia purificada à temperatura de 100-104°C até massa constante (Instituto Adolfo Lutz – IAL, 2008).

A acidez titulável total foi determinada por titulometria com solução padrão de NaOH 0,1 M, (indicador: fenolftaleína a 1,0%) segundo norma IDF 150 (Brasil, 2006). Os resultados expressos em g de ácido láctico/100 g de produto, conforme equação:

$$\text{g de ácido láctico/100 g de produto} = \frac{V \times f \times 0,9}{p}$$

onde V é o volume (mL) de hidróxido de sódio (0,1 M) usado na titulação, P é a massa de iogurte (g), 0,9 é o fator de conversão para ácido láctico, e f é o fator da solução de hidróxido de sódio.

A determinação do pH foi feita por meio do método eletrométrico, utilizando-se um pHmetro digital (Instituto Adolfo Lutz – IAL, 2008).

### 2.4.3 Textura

A firmeza dos iogurtes foi avaliada em texturômetro Stable Micro Systems, modelo TAX-XT Plus, utilizando-se probe cilíndrica P/20P, força no modo de compressão, velocidade de pré-teste 2,0 mm.s<sup>-1</sup>, velocidade de teste 2,0 mm.s<sup>-1</sup>, velocidade pós-teste 2,0 mm.s<sup>-1</sup>, distância de 5 mm; força de contato de 100 g. A análise foi realizada com 3 repetições e os resultados expressos em gf. Esta análise foi realizada no próprio pote dos iogurtes, que mantiveram o mesmo padrão de altura.

### 2.4.4 Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada com 61 consumidores da região de Diamantina/MG, 41% dos consumidores apresentaram faixa etária de 21 a 30 anos e 54,1% eram do sexo masculino, consumidores regulares de iogurte. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética, sob número CAAE: 47634321.3.0000.5108. Mediante a situação atual da pandemia devido a COVID-19, causada pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2), a análise sensorial foi realizada em domicílio, seguindo todos os protocolos de segurança. Para entrega das amostras, estas foram organizadas em embalagens descartáveis devidamente lacradas e codificadas com números aleatórios de 3 dígitos, em blocos completos balanceados (Wakeling & McFi, 1995), juntamente acompanhada de um manual de instruções sobre como acessar o QR code o qual direcionava ao formulário que deveria ser preenchido de acordo com a interpretação sensorial de cada participante. Foi enviado também um *link* contendo o mesmo formulário possibilitando o acesso para quem não dispusesse de condições de acessar o QR code e um vídeo demonstrativo de como deveria proceder a análise sensorial. A confecção do formulário foi feita pelo *Google Forms*.

Foram realizados estudos de aceitação. Escalas hedônicas estruturadas de nove pontos, cujos extremos correspondem a desgostei extremamente (1) e gostei extremamente (9) foram utilizadas no teste de aceitação para avaliação da impressão global, conforme Dutcosky (2011).

A realização da análise sensorial foi divulgada por meio de redes sociais. A cada avaliador foi apresentado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido autorizando a sua participação voluntária na pesquisa.

### 2.5 Análise estatística

Os resultados das variáveis dependentes foram avaliados através de Metodologia de Superfície de Resposta para o cálculo do coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 10%. Para o presente

trabalho foi adotado coeficiente de regressão ( $R^2$ ) mínimo da ANOVA de 0,85. O ponto otimizado foi determinado através de metodologia proposta por Derringer e Suich (1980).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Análises microbiológicas

Os iogurtes produzidos apresentaram qualidade microbiológica para o consumo. Não foi detectada a presença de *Salmonella* spp. (ausência em 25g). A população de Bactérias e Leveduras foi  $<10^3$  UFC/g. Não foram evidenciadas presenças de *E. coli* ( $<10$ ), indicando que todas as amostras estavam de acordo com a RDC n° 331 de 2019 (Brasil, 2019b) e IN n° 60 de 2019 (Brasil, 2019a).

#### 3.2 Extrato seco total, acidez titulável total, pH e aceitação

A Tabela 2 apresenta os resultados para extrato seco total, firmeza, acidez titulável total, pH e aceitação dos iogurtes obtidos.

**Tabela 2** – Níveis reais das variáveis independentes estudadas e resultados dos parâmetros avaliados.

Ensaios	X <sub>1</sub> (%)	X <sub>2</sub> (%)	X <sub>3</sub> (%)	Extrato seco total (%)	Firmeza (g.f)	Acidez (g de ácido.100g <sup>-1</sup> )	pH	Aceitação
1	5,00	0,00	0,00	23,28 ±0,10	190,58 ±4,78	1,21 ±0,01	4,52 ±0,08	7,03
2	0,00	5,00	0,00	25,09 ±0,09	249,19 ±5,69	1,16 ±0,01	4,46 ±0,01	5,61
3	0,00	0,00	5,00	24,76 ±0,53	233,22 ±2,62	1,23 ±0,44	4,65 ±0,16	6,75
4	2,50	2,50	0,00	23,91 ±0,36	222,42 ±3,29	1,21 ±0,06	4,59 ±0,06	6,89
5	2,50	0,00	2,50	24,41 ±0,27	216,04 ±6,00	1,04 ±0,01	5,38 ±0,05	6,66
6	0,00	2,50	2,50	25,51 ±0,09	241,68 ±3,60	1,19 ±0,03	4,54 ±0,01	6,46
7	1,66	1,66	1,66	24,59 ±0,21	209,89 ±1,31	1,31 ±0,01	4,49 ±0,05	6,39

X<sub>1</sub> = porcentagem de lactulose; X<sub>2</sub> = porcentagem de dextrina resistente; X<sub>3</sub> = porcentagem de fruto-oligossacarídeos; média de três repetições ± desvio padrão. Fonte: Autores (2022).

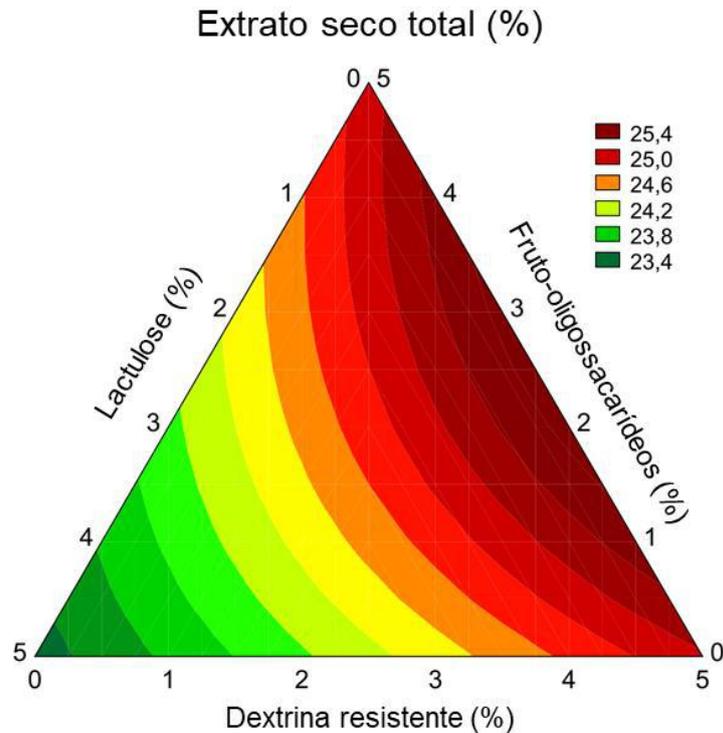
O extrato seco total representa todos os componentes presentes na amostra, exceto a água. Os resultados obtidos para os iogurtes variaram de 23,28 a 25,51%. Conforme observado na Tabela 3, a qual apresenta os modelos matemáticos, e no comportamento da curva de contorno (Figura 1), os pseudocomponentes e a interação entre dextrina resistente e o fruto-oligossacarídeo das variáveis independentes apresentaram efeito significativo ( $p = 0,022$ ). Desta forma, constatou-se a influência dos prebióticos no teor de sólidos totais, visto que quanto maior o teor de lactulose, menor foi o extrato seco, o que já era de se esperar pelo fato da lactulose ter sido adicionada na forma de xarope. A dextrina resistente foi o prebiótico que apresentou maior influência no extrato seco seguido dos fruto-oligossacarídeos.

Desai, et al. (2013) demonstraram que a composição de iogurtes gregos varia de acordo com o método de fabricação; por dessoragem ou fortificação; e teor de gordura. Iogurtes gregos comerciais (dessorados, fortificados, integrais e desnatados) apresentaram valores de extrato seco que variaram de 15 a 23,8%.

Costa, et al. (2019) observaram que a adição de prebióticos (xilo-oligossacarídeo (XOS), galacto-oligossacarídeos (GOS), polidextrose, fruto-oligossacarídeos (FOS) e inulina) não influenciaram no extrato seco do iogurte grego integral e estes apresentaram um teor de sólidos de 31,5 a 32,7%.

Portanto, observou-se a influência da gordura no teor de extrato seco, visto que os valores encontrados neste estudo foram menores que os encontrados por Costa, et al. (2019), já que os iogurtes foram produzidos com leite desnatado. Outro fator que contribuiu para a diferença no extrato seco foi a forma de adição do prebiótico, xarope ou pó.

**Figura 1** – Curva de contorno para a variável dependente extrato seco total.



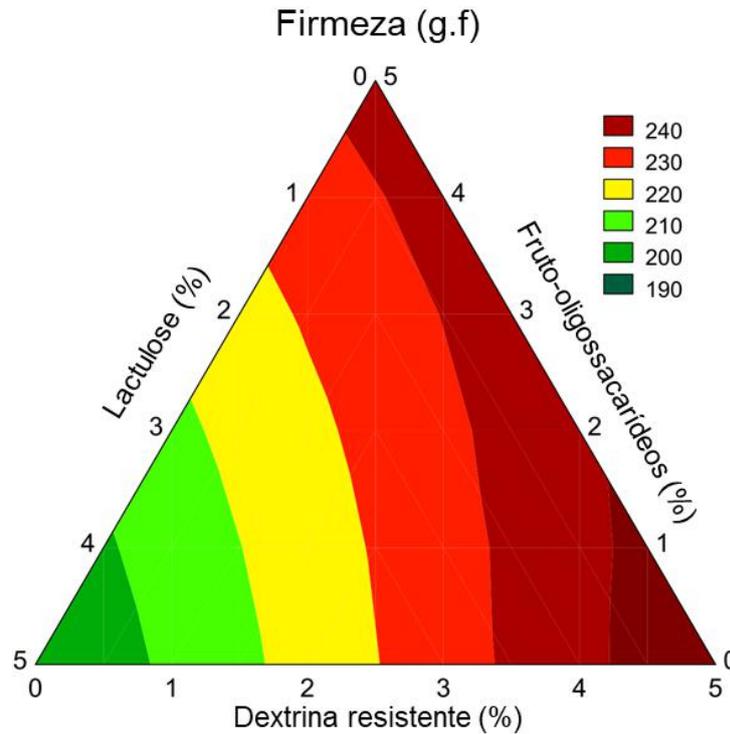
Fonte: Autores.

Conforme o modelo matemático apresentado na Tabela 3 e no comportamento da curva de contorno (Figura 2), as variáveis independentes apresentaram efeito significativo ( $p = 0,040$ ) na firmeza dos iogurtes. A lactulose proporcionou uma menor firmeza para as amostras ( $\beta_1 = 189,98$ ), enquanto que a dextrina resistente resultou em géis com maiores valores da firmeza ( $\beta_2 = 249,24$ ).

Segundo Muniz Pereira, et al. (2021), a firmeza do iogurte depende diretamente da concentração de sólidos totais e, especificamente, do teor de proteína e do tipo de proteína. A relação entre o teor de sólidos totais e a firmeza do iogurte grego foi comprovada na Figura 3, onde observou-se uma correlação direta ( $r = 85,77\%$ ).

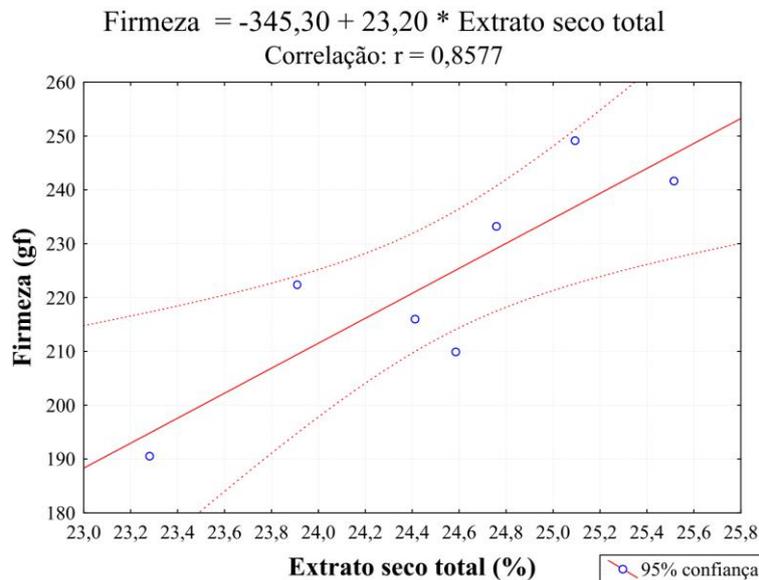
Delgado-Fernandez, et al. (2020b) observou que mantendo a mesma quantidade de proteína e o mesmo tipo de proteína adicionada, o iogurte controle apresentou maior firmeza do gel em comparação com o iogurte adicionado de lactulose e oligossacarídeos derivados da lactulose, o que levou a inferir que prebióticos de cadeia curta podem afetar as propriedades de textura dos iogurtes, resultando em géis mais macios. Resultados semelhantes foram encontrados por Cruz, et al. (2013) e Paseephol, et al. (2008) com oligofrutose e inulina de cadeia curta, respectivamente.

**Figura 2** – Curva de contorno para a variável dependente firmeza.



Fonte: Autores.

**Figura 3** – Correlação de Pearson entre as variáveis dependentes extrato seco total e firmeza.



Fonte: Autores.

Os termos lineares de lactulose, dextrina resistente e fruto-oligosacarídeos apresentaram efeito estatisticamente significativo ( $p < 0,10$ ), e os componentes binários (interações entre as variáveis independentes) não foram significativos ( $p > 0,10$ ) para acidez titulável total e pH. No entanto, somente 51,36 e 76,78% das respostas foram explicadas pela análise de variância ( $p > 0,10$ ), impossibilitando a elaboração do modelo matemático preditivo e a geração das curvas de contorno. Os valores para acidez titulável total variaram entre 1,04 e 1,31% de ácido lático por 100g de amostra e ficaram dentro do

preconizado pelo Regulamento de Identidade e Qualidade para Leites Fermentados (Brasil, 2007), o qual determina valores entre 0,6 e 1,5% de ácido lático em 100g de iogurte. Os resultados de pH situaram-se entre 4,46 e 5,38.

As médias de aceitação dos ensaios, atributo de análise geral do produto, variaram de 5,61 a 7,03, o que corresponde na escala hedônica às categorias “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”, respectivamente. Conforme o modelo matemático (Tabela 3) e a curva de contorno (Figura 4), os prebióticos adicionados apresentaram efeito estatisticamente significativo ( $p = 0,084$ ), sendo a lactulose ( $\beta_1 = 6,92$ ) o prebiótico que teve maior influência positiva na aceitação seguida pelo fruto-oligosacarídeos. A aplicação da dextrina resistente apresentou um efeito menor ( $\beta_2 = 5,70$ ) na aceitação dos iogurtes produzidos, sendo o ensaio 2 o único que apresentou aceitação inferior a 70%.

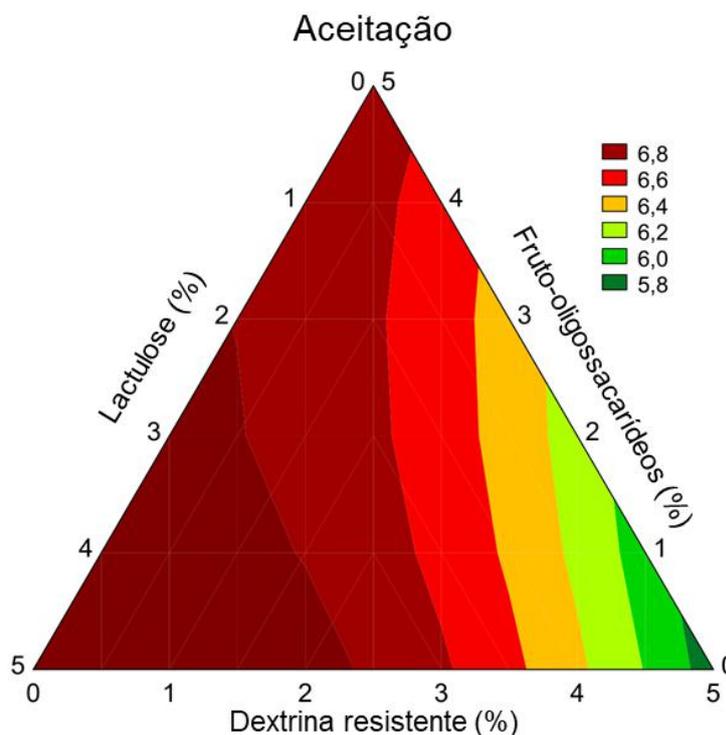
Observou-se que os menores teores de extrato seco e firmeza, apresentados pela formulação com maior teor de lactulose, não influenciaram na aceitação do produto.

Desai, et al. (2013) encontrou médias de aceitação global que variaram de 3,8 a 6,8 para iogurtes gregos comerciais. A variação na aceitação foi observada principalmente devido ao teor de gordura. Observou-se que a maioria dos consumidores relatou optar por comprar e consumir iogurte com teor reduzido ou sem gordura, mas quando os iogurtes foram avaliados sensorialmente às cegas, um iogurte integral foi o preferido, inferindo que a gordura é um fator decisivo na aceitação do produto.

Silveira, et al. (2016) encontrou valores de aceitação para iogurtes gregos integrais comerciais entre 7,05 e 7,69, médias maiores às encontradas para os iogurtes em estudo.

Portanto, observa-se que o teor de gordura é um fator decisivo na aceitação sensorial de iogurtes gregos. Em função disso, pode-se inferir que as menores médias encontradas para os iogurtes em estudo podem estar relacionadas ao reduzido teor de gordura e também ao tipo de prebiótico adicionado, em contrapartida, conforme Desai et al. (2013), o reduzido teor de gordura é um fator positivo no momento da compra do produto.

**Figura 4** – Curva de contorno para a variável dependente aceitação.



Fonte: Autores.

**Tabela 3** - Modelos matemáticos das variáveis dependentes estatisticamente significativas ( $p < 0,10$ ), em níveis codificados, para a produção do iogurte.

Variável dependente	Modelo matemático preditivo	p-valor	R <sup>2</sup> (%)
Extrato seco total (%)	$23,30x_1 + 24,97x_2 + 24,91x_3 + 2,20x_2x_3$	0,022	94,31
Firmeza (g.f)	$189,98x_1 + 249,24x_2 + 233,92x_3 - 21,18x_2x_3$	0,040	91,63
Aceitação	$6,92x_1 + 5,70x_2 + 6,71x_3 + 1,83x_1x_2$	0,089	85,52

$x_1$  = lactulose;  $x_2$  = dextrina resistente;  $x_3$  = fruto-oligossacarídeos. Fonte: Autores (2022).

### 3.4 Otimização numérica

Para determinar a melhor formulação foi realizada uma otimização numérica. Para isso, foram considerados apenas os parâmetros estatisticamente significativos ( $p < 0,10$ ): extrato seco total, firmeza e aceitação.

Após estabelecidos os objetivos para as variáveis independentes e dependentes, foram atribuídas importâncias para cada uma com valores entre 1 a 5, sendo 1 considerada de menor importância e 5 a maior importância. Na Tabela 4 estão apresentados os parâmetros otimizados e as respectivas soluções. A melhor formulação foi obtida com 1,00 de lactulose, 0,00 de dextrina resistente e 0,00 de fruto-oligossacarídeos (em níveis codificados), com uma probabilidade de sucesso de 98,21 %.

**Tabela 4** – Análise de desejabilidade com os objetivos e a importância utilizados para a otimização numérica da formulação.

Variáveis	Objetivo	Importância	Valor codificado	Valor real
<b>Independentes</b>				
Lactulose	maximizar	5	1,00	5 %
Dextrina resistente	minimizar	5	0,00	0 %
Fruto-oligossacarídeos	na faixa	3	0,00	0 %
<b>Dependentes</b>				
Extrato seco total (%)	minimizar	5	23,30	
Firmeza (g.f)	minimizar	5	189,98	
Aceitação	maximizar	5	6,92	
Desejabilidade				98,21 %

Fonte: Autores (2022).

A concentração mínima recomendada para lactulose é de 3,0 g por porção (Anvisa, 2019), o que corresponde a uma porção de aproximadamente 117 g de iogurte grego. Portanto, considerando o ponto otimizado uma porção de 120 g de iogurte grego irá conter a quantidade de lactulose recomendada pela legislação vigente. Estudos *in vivo* (usando ratos) serão realizados para avaliar a funcionalidade do produto final.

Portanto, o iogurte se torna um excelente veículo de lactulose, que além de apresentar o efeito como prebiótico, estudos apontados por Seiki, et al. (2012) relatam: aumento da absorção mineral; efeitos de redução de glicose no sangue; efeitos hipocolesterolêmicos; prevenção ou diminuição de infecções do trato urinário (ITU) e redução no tempo de trânsito intestinal.

## 4. Considerações Finais

As variáveis independentes apresentaram efeitos estatisticamente significativos ( $p < 0,10$ ) para as variáveis extrato seco total, firmeza e aceitação. O extrato seco e a firmeza dos iogurtes foram menores quando da utilização de maior concentração de lactulose. Em contrapartida, os iogurtes com maior concentração de lactulose receberam as maiores notas para aceitação. A formulação otimizada foi obtida com 5 % de lactulose, 0 % de dextrina resistente e 0 % de fruto-oligossacarídeos com uma

probabilidade de sucesso de 98,21 %. Considerando o ponto otimizado, uma porção de 120 g de iogurte grego irá conter a quantidade de lactulose recomendada pela Anvisa. Portanto, o iogurte se torna um excelente veículo de lactulose, com propriedades tecnológicas e sensoriais satisfatórias.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e ao Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) pelo apoio institucional. À Fundação de Apoio do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro. Agradecemos também à Fermentech® e Ingredion® pelo fornecimento de insumos para a produção do iogurte.

## Referências

- Aghajani, R., Pourahmad, R., & Mahdavi Adeli, H. R. (2014). The Effect of Oligofructose, Lactulose and Inulin Mixture as Prebiotic on Physicochemical Properties of Synbiotic Yogurt. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 4(2), 33-40.
- Anvisa (2019). Alegações de propriedade funcional aprovadas. [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/alegacoes-de-propriedade-funcional-aprovadas\\_anvisa.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/alegacoes-de-propriedade-funcional-aprovadas_anvisa.pdf)
- Brasil. (2006). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Métodos analíticos oficiais físico-químicos, para controle de leite e produtos lácteos. Instrução Normativa nº 68 de 12 de dezembro de 2006. Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, de 14 de dezembro de 2006.
- Brasil. (2007). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. Adota o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados, anexo à presente Instrução Normativa. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 18 out. 2007.
- Brasil. (2019a). Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa Nº 60, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 de dezembro de 2019.
- Brasil. (2019b). Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RDC nº 331, de 23 de dezembro de 2019. Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 de dezembro de 2019.
- Costa, M. F., Pimentel, T. C., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Cavalcanti, R. N., Esmerino, E. A. Freitas, M. Q., Raices, R. S. L., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2019). Impact of prebiotics on the rheological characteristics and volatile compounds of Greek yogurt. *LWT*, 105, 371-376. 10.1016/j.lwt.2019.02.007
- Delgado-Fernández, P., Corzo, N., Olano, A., Hernández-Hernández, O., & Moreno F. J. (2019). Effect of selected prebiotics on the growth of lactic acid bacteria and physicochemical properties of yoghurts. *International Dairy Journal*, 89, 77-85. 10.1016/j.idairyj.2018.09.003
- Delgado-Fernández, P., Hernández-Hernández, O., Olano, A., Javier Moreno, F., & Corzo, N. (2020a). Probiotic viability in yoghurts containing oligosaccharides derived from lactulose (OsLu) during fermentation and cold storage. *International Dairy Journal*, 102, 10.1016/j.idairyj.2019.104621
- Delgado-Fernández, P., Javier Moreno, F., Corzo, N., & Nöbel, S. (2020b). Physical properties of synbiotic yogurts as affected by the acidification rate. *International Dairy Journal*, 105, 10.1016/j.idairyj.2020.104665.
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of Quality Technology*, 12, 214-219. 10.1080/00224065.1980.11980968
- Desai, N.T., Shepard, L., & Drake, M. A. (2013). Sensory properties and drivers of liking for Greek yogurts. *Journal of Dairy Science*, 96 (12), 7454-7466. 10.3168/jds.2013-6973.
- Dutcosky, S. D. (2011). *Análise Sensorial de Alimentos (3a ed.)*. Champagnat – Pucpress, 4.
- Flores-Maltos, D. A., Mussatto, S. I., Contreras-Esquivel, J. C., Rodríguez-Herrera, R., Teixeira, J. A., & Aguilar, C. N. (2014). Biotechnological production and application of fructooligosaccharides. *Critical Reviews in Biotechnology*, 36(2): 259-267, 10.3109/07388551.2014.953443
- Huang, Z., Wang, J. J., Chen, Y., Wei, N., Hou, Y., Bai, W., & Hu, S.Q. (2020). Effect of water-soluble dietary fiber resistant dextrin on flour and bread qualities. *Food Chemistry*, 317, 2020. 10.1016/j.foodchem.2020.126452
- Ibrahim, O. O. (2018). Functional Oligosaccharides: Chemicals Structure, Manufacturing, Health Benefits, Applications and Regulations. *Journal Food Chemistry and Nanotechnology*, 4(4), 65-76. 10.17756/jfcn.2018-060
- Instituto Adolfo Lutz (2008). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. Instituto Adolfo Lutz, 1020 p.
- Kapusniak, K., & Nebesny, E. (2017). Enzyme-resistant dextrins from potato starch for potential application in the beverage industry. *Carbohydrate Polymers*, 172, 152-158. 10.1016/j.carbpol.2017.05.041
- Karim, A., & Aider, M. (2022). Production of prebiotic lactulose through isomerisation of lactose as a part of integrated approach through whey and whey permeate complete valorisation: A review. *International Dairy Journal*, 126. 10.1016/j.idairyj.2021.105249

- Li, H., Zhang, T., Li, C., Zheng, S., Li, H., & Yu, J. (2020). Development of a microencapsulated synbiotic product and its application in yoghurt, *LWT*, 122. 10.1016/j.lwt.2020.109033.
- Mandal V., Sen S. K., & Mandal, N. C. (2009). Effect of prebiotics on bacteriocin production and cholesterol lowering activity of *Pediococcus acidilactici* LAB 5. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25, 1837–1841. 10.1007/s11274-009-0085-4
- Martins, G. N., Ureta, M. M., Tymczyszyn, E. E., Castilho, P. C., & Gomez-Zavaglia, A. (2019). Technological Aspects of the Production of Fructo and Galacto-Oligosaccharides. Enzymatic Synthesis and Hydrolysis. *Frontiers in Nutrition*, 6(78). 10.3389/fnut.2019.00078
- Mateo-Gallego, R., Pérez-Calahorra, S., Lamiquiz-Moneo, I., Marco-Benedí, V., Bea, A. M., Fumanal, A. J., Prieto-Martín, A., Laclaustra, M., Cenarro, A., & Civeira, F. (2020). Effect of an alcohol-free beer enriched with isomaltulose and a resistant dextrin on insulin resistance in diabetic patients with overweight or obesity. *Clinical Nutrition*, 9(2), 475-483. 10.1016/j.clnu.2019.02.025
- Mishra, S., & Mishra, H. N. (2013). Effect of synbiotic interaction of fructooligosaccharide and probiotics on the acidification profile, textural and rheological characteristics of fermented soy milk. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 3166-3176. 10.1007/s11947-012-1021-4
- Muniz Pereira, C. T., Muniz Pereira, D., Medeiros, A. C., Hiramatsu, E. Y., Ventura, M. B., & Bolini, H. M. A. (2021). Skyr yogurt with mango pulp, fructooligosaccharide and natural sweeteners: Physical aspects and drivers of liking. *LWT*, 150. 10.1016/j.lwt.2021.112054.
- Nooshkam, M., & Madadlou, A. (2016). Maillard conjugation of lactulose with potentially bioactive peptides, *Food Chemistry*, 192, 831-836. 10.1016/j.foodchem.2015.07.094
- Oliveira, R. P. S., Florence, A. C. R., Perego, P., Oliveira, M. N., & Converti, A. (2011). Use of lactulose as prebiotic and its influence on the growth, acidification profile and viable counts of different probiotics in fermented skim milk, *International Journal of Food Microbiology*, 145(1), 22-27. 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.11.011.
- Rodrigues Mano, M. C., Neri-Numa, I. B., da Silva, J. B., Paulino, B. N., Pessoa, M. G., & Pastore, G. M. (2017). Oligosaccharide biotechnology: an approach of prebiotic revolution on the industry. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102 (1). 10.1007/s00253-017-8564-2
- Rosa, L. P. S. & Cruz, D. J. (2017). Aplicabilidade dos fructooligosacarídeos como alimento funcional. *Nutrivisa – Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde*. 4(1), 68-79. <https://www.revistanutrivisa.com.br/wp-content/uploads/2018/04/nutrivisa-vol-4-num-1-09.pdf>
- Seki, N. & Saito, H. (2012). Lactose as a source for lactulose and other functional lactose derivatives, *International Dairy Journal*, 22, 2, 110-115. 10.1016/j.idairyj.2011.09.016
- Shireesha, B., Raju, M. P., Shobha, S., & Kuna, A. (2014). Development of symbiotic yogurt. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8, 2319-2402.
- Slavin J. (2013). Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417–1435.
- Silva, N., Valéria Junqueira, V. C. A., Silveira, N. F. A., Taniwaki, M. H., Gomes, R. A. R., & Okazaki, M. M. (2017). *Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água*. 5. ed. São Paulo: Varela, 535 p.
- Silveira, M. P., Ferreira-Rocha, L. O., Castro, A. L., Brandão, D. C., Guedes, T. J., & Fernandes, M. K. O. F. (2016). Avaliação da qualidade de labneh (iogurte grego): estudo com consumidores. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, 71 (2), 65-74. <https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/505>
- Stowell, J. (2007). Chapter 4. Calorie control and weight management. In: Mitchell H (ed) *Sweeteners and sugar alternatives in food technology*. Blackwell Publishing Ltda.
- Vaidya, R. H., & Sheth, M. K. (2010). Processing and storage of Indian cereal and cereal products alters its resistant starch content. *Journal of Food Science and Technology*, 48, 622–627. 10.1007/s13197-010-0151-9
- Vamanu, E., & Vamanu, A. (2010). The influence of prebiotics on bacteriocin synthesis using the strain *Lactobacillus paracasei* CMGB16. *African Journal of Microbiology Research*, 4, 534–537. [https://academicjournals.org/article/article1380181404\\_Vamanu%20and%20Vamanu.pdf](https://academicjournals.org/article/article1380181404_Vamanu%20and%20Vamanu.pdf)
- Vital, A. C., Itoda, C., Hokazono, T. Y., Crepaldi, Y. S., Saraiva, B. R., Rosa, C. I. L. F., & Matumoto-Pintro, P. T. (2020). Use of soy as a source of protein in low-fat yogurt production: microbiological, functional and rheological properties. *Research, Society and Development*, 9(11). 10.33448/rsd-v9i11.9472
- Wakeling, I. N., & MacFie, H. J. H. (1995). Designing consumer trials balanced for first and higher orders of carry-over effect when only a subset of  $k$  samples from  $t$  may be tested. *Food Quality and Preference*, 6(4),299-308.
- Yeo, S. K., & Liong, M. T. (2010). Effect of prebiotics on viability and growth characteristics of probiotics in soymilk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 267–275. 10.1002/jsfa.3808
- Zhang,N., Jin, M., Wang, K., Zhang, Z., Shah, N. P., & Wei, H., (2022). Functional oligosaccharide fermentation in the gut: Improving intestinal health and its determinant factors-A review, *Carbohydrate Polymers*, 284, 119043. 10.1016/j.carbpol.2021.119043