

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Nutrição**  
**Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos**



**Amido de arroz modificado e óleo de abacate para elaboração de bolo sem glúten: avaliações físico-químicas, microbiológicas, sensoriais, nutricionais e estudo de estabilidade**

**Gabrielle Tomaz Nunes**

Pelotas, 2023

**Gabrielle Tomaz Nunes**

**Amido de arroz modificado e óleo de abacate para elaboração de bolo sem glúten: avaliações físico-químicas, microbiológicas, sensoriais, nutricionais e estudo de estabilidade**

Comitê de orientação:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carla Rosane Barboza Mendonça – Orientadora

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosana Colussi

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Caroline Dellinghausen Borges

Prof. Dr. Eliezer Avila Gandra

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação da Publicação

N972a Nunes, Gabrielle Tomaz

Amido de arroz modificado e óleo de abacate para elaboração de bolo sem glúten [recurso eletrônico] : avaliações físico-químicas, microbiológicas, sensoriais, nutricionais e estudo de estabilidade / Gabrielle Tomaz Nunes, Sabrina Feksa Frasson ; Carla Rosane Barboza Mendonça, orientadora ; Rosana Colussi, Caroline Dellinghausen Borges, Eliezer Ávila Gandra, coorientadores. — Pelotas, 2023.

101 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos, Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Complexo amilose-lipídio. 2. Bolo sem glúten. 3. Glúten free. 4. Digestibilidade. 5. Avaliação físico-química. I. Frasson, Sabrina Feksa. II. Mendonça, Carla Rosane Barboza, orient. III. Colussi, Rosana, coorient. IV. Borges, Caroline Dellinghausen, coorient. V. Título.

CDD 641.1

NUNES, Gabrielle Tomaz. **Amido de arroz modificado e óleo de abacate para elaboração de bolo sem glúten: avaliações físico-químicas, microbiológicas, sensoriais, nutricionais e estudo de estabilidade.** 104f. 2023. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos), Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2023.

### Resumo

O diagnóstico de reações adversas à saúde pelo consumo de glúten tem sido crescente, com isso a indústria alimentícia tem direcionado esforços no desenvolvimento e fabricação de produtos sem glúten. Devido a isso, tem-se utilizado amido em substituição às farinhas e a processos de modificação têm sido implementados visando a melhoria desses produtos. Desta forma, objetivou-se com este estudo empregar óleo de abacate e amido de arroz modificado por tratamento térmico de baixa umidade, complexado com óleo de abacate, na elaboração de bolo isento de glúten e avaliar parâmetros físico-químicos, nutricionais, tecnológicos, microbiológicos, sensoriais, a vida útil dos produtos e o efeito de diferentes embalagens, bem como alguma características do amido. O amido modificado complexado com óleo de abacate apresentou menor poder de inchamento e menor capacidade de absorção de água em relação ao amido nativo. Ao ser utilizado em um bolo, em conjunto da adição de óleo de abacate, apresentou boas características de alveolação e textura, além de coloração amarelo-laranja com maior intensidade que o bolo com o amido nativo. No global, o bolo isento de glúten com amido modificado e óleo de abacate obteve maior aceitação sensorial e apresentou menor digestibilidade *in vitro* devido a formação do amido resistente e presença de óleo não refinado. Na determinação de antioxidantes pelos métodos de DPPH e ABTS não apresentou resultados melhores que os bolos feitos com óleo de soja, entretanto, no global apresentou boas características no estudo de estabilidade ao longo do armazenamento de sete dias em temperatura ambiente ( $25\pm 1$  °C). A avaliação das diferentes embalagens (PVC, papel alumínio e *Zip Lock*), não evidenciou clara vantagem para qualquer delas. O estudo demonstrou ser favorável o uso de amido modificado complexado com óleo de abacate e a adição de óleo de abacate como ingrediente lipídico em bolos.

**Palavras Chaves:** complexo amilose-lipídio; bolo sem glúten; glúten *free*; digestibilidade; análise sensorial; avaliação físico-química.

## Lista de Figuras

Lista de Figuras	10
Figura 1- Característica de alveolação dos bolos elaborados com amido de arroz, através das imagens obtidas pelo programa Imagej.	52
Figura 2- Frequência de distribuição da escala hedônica para os atributos impressão global, textura, sabor, cor e aparência das formulações de bolo isentos de glúten.	66
Figura 3 – Umidade dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a $25\pm 1$ °C. N+OS = amido nativo com óleo de soja;	69
Figura 4 – Perda de massa dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a $25\pm 1$ °C.	71
Figura 5 – Mastigabilidade dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a $25\pm 1$ °C.	75
Figura 6 – Gomosidade dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a $25\pm 1$ °C.	76
Figura 7 – Dureza dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a $25\pm 1$ °C.	77
Figura 8 – Luminosidade ( $L^*$ ) da crosta dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a $25\pm 1$ °C.	81
Figura 9 – Cromo da crosta dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a $25\pm 1$ °C.	82
Figura 10 – HUE da crosta dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a $25\pm 1$ °C.	83
Figura 11 – Luminosidade ( $L^*$ ) do miolo dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a $25\pm 1$ °C.	84
Figura 12 – Cromo do miolo dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a $25\pm 1$ °C.	84
Figura 13 – Hue do miolo dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a $25\pm 1$ °C.	85

## Lista de Tabelas

<u>Tabela 1. Ingredientes e quantidades utilizadas para o preparo dos bolos.</u>	<u>20</u>
<u>Tabela 1. Poder de inchamento e solubilidade do amido de arroz nativo e amido de arroz modificado.</u>	<u>47</u>
<u>Tabela 2. Capacidade de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (CAO) no amido de arroz nativo e amido de arroz modificado.</u>	<u>48</u>
<u>Tabela 3. Composição centesimal das quatro formulações de bolo isento de glúten (35g) em base seca e do amido modificado.</u>	<u>49</u>
<u>Tabela 4. Parâmetros de textura e volume dos bolos isentos de glúten, elaborados com amido do arroz.</u>	<u>54</u>
<u>Tabela 5. Parâmetros de cor da crosta e do miolo das quatro formulações de bolo sem glúten.</u>	<u>56</u>
<u>Tabela 6. Digestibilidade in vitro do amido (%).</u>	<u>59</u>
<u>Tabela 7. Compostos fenólicos e atividade antioxidante das quatro formulações de bolo sem glúten.</u>	<u>62</u>
<u>Tabela 8. Avaliação sensorial das formulações de bolo isentos de glúten.</u>	<u>64</u>
<u>Tabela 9. Preferência sensorial pelas formulações de bolo isentos de glúten elaboradas com amido de arroz.</u>	<u>68</u>
<u>Tabela 10. Umidade dos bolos isentos de glúten ao longo de 7 dias de armazenamento.</u>	<u>70</u>
<u>Tabela 11. Perda de massa dos bolos isentos de glúten ao longo de 7 dias de armazenamento.</u>	<u>71</u>
<u>Tabela 12. Textura dos bolos isentos de glúten durante o armazenamento por 7 dias</u>	<u>74</u>
<u>Tabela 13. Cor da crosta e do miolo das quatro formulações de bolos isentos de glúten durante o armazenamento por 7 dias.</u>	<u>80</u>
<u>Tabela 14. Quantificação de bolores e leveduras nos bolos isentos de glúten em diferentes embalagens armazenados a 25±1 °C.</u>	<u>88</u>

## Sumário

1	Introdução	5
2.	Hipóteses	7
3.	Objetivos e Metas	8
3.1	Objetivo Geral	8
3.2	Objetivos Específicos	8
4	Revisão de Literatura	9
4.1	Glúten – definição, importância, restrições	9
4.2	Amido em substituição a farinha com glúten	10
4.3	Produtos com amidos modificados na redução de índice glicêmico	12
4.4	Óleo de abacate: composição, características e aplicações	13
4.5.	Características microbiológicas de produtos de panificação	15
5	Materiais e Métodos	17
5.1	Materiais	17
5.2	Métodos	17
5.2.1	Extração do amido de arroz	17
5.2.2	Modificação do amido de arroz por TTBU	18
5.2.3	Avaliação dos amidos modificados	18
	Poder de inchamento e solubilidade	18
	Capacidade de absorção de água	18
	Capacidade de absorção de óleo	19
5.2.4	Produção do bolo sem glúten	19
	Tabela 1. Ingredientes e quantidades utilizadas para o preparo dos bolos.	20
5.2.5	Avaliações dos produtos elaborados	20
5.2.5.1	Composição centesimal	21
5.2.5.2	Análises físicas	21
	Alveolação	21
	Textura	21
	Volume específico	21
	Cor	22
5.2.5.3	Avaliações nutricionais	22
	Digestibilidade in vitro	22
	Índice glicêmico estimado (IGe)	23
5.2.5.4	Análises químicas	24
	Compostos fenólicos	24
	Atividade antioxidante por ABTS	25
5.2.5.5	Análises sensoriais	25
5.2.5.6	Análises microbiológicas	26
	Salmonella spp.	26

Escherichia coli	26
Bolores e leveduras	27
5.2.5.7 Avaliação da estabilidade	27
5.3 Análise estatística	28
6 Referências	29
Artigo.....	39
2.2.2 Modificação do amido de arroz por TTBU	41
2.2.5 Capacidade de absorção de água e óleo	41
2.3 Avaliações dos bolos sem glúten	43
2.3.1 Composição centesimal	43
2.3.2 Análises físicas	43
2.3.3 Alveolação	43
2.3.4 Textura	43
2.3.5 Volume específico	43
2.3.6 Cor	43
2.4 Avaliações nutricionais	44
2.4.1 Digestibilidade in vitro	44
2.4.2 Índice glicêmico estimado (IGe)	44
2.4.3 Análises químicas	44
2.4.5 Atividade Antioxidante ABTS	44
2.5 Análise sensorial	45
2.7 Análises microbiológicas	45
2.8 Avaliação da estabilidade	45
2.8 Análise estatística	46
Conclusão.....	93
Referências.....	94

## 1 Introdução

O número de pessoas manifestando problemas de saúde relacionado ao consumo de cereais que contenham glúten é crescente mundialmente (BIESIEKIERSKI, 2015). As reações adversas apresentadas por essa parcela da população podem ser manifestadas em três maneiras diferentes: doença celíaca (DC), caracterizada por ser uma alteração sistêmica imunomediada induzida pelo glúten; alergia ao trigo (AT), sendo esta uma sensibilidade do sistema imunológico, reagindo a qualquer alimento com trigo, não manifestando reações ao centeio e a cevada; sensibilidade não celíaca ao glúten (SNCG), sendo esta frequentemente relacionada a dieta, microbiota intestinal e possíveis fatores genéticos (BOARIM, 2018; LOHI et al., 2011; KIRSI et al., 2022; NAVARRO et al., 2015).

A indústria alimentícia tem direcionado esforços no desenvolvimento e fabricação de produtos sem glúten, com destaque para o setor de panificação (SKENDI et al., 2021). O glúten exerce um papel fundamental nas massas alimentícias, sendo o responsável pela viscoelasticidade que confere as características tecnológicas e sensoriais desejadas (GALLAGHER et al., 2004).

Sendo assim, torna-se um desafio para a indústria alimentícia aumentar a disponibilidade de produtos isentos de glúten. Frequentemente, amido de diversas fontes são empregados em substituição ao glúten, entretanto, os produtos nos quais eles são incorporados sofrem alterações em textura, consistência e sabor, afetando diretamente a aceitação do consumidor (GAO et al., 2018). Adicionalmente, a alta digestibilidade do amido influencia diretamente na saúde do consumidor, devido a acelerada absorção dos carboidratos pelo organismo, proporcionando um alimento de alto índice glicêmico. Tendo em vista que, estudos mostram um aumento na prevalência da DC em pacientes portadores de diabetes mellitus tipo 1 (WEISS et al., 2017), a alta digestibilidade nesses produtos se torna ainda mais preocupante.

Assim, a melhoria nutricional e tecnológica dos produtos sem glúten tem sido intensificada na seleção de materiais e métodos de processamento de amido modificado (MARCELLA et al., 2012; GIUBERTI et al., 2015). Entre os amidos, o obtido da farinha de arroz é amplamente utilizado, por apresentar um sabor neutro e ser hipoalergênico (GAO et al., 2018). O estudo de Frasson (2022), mostrou que a modificação física do amido de arroz é interessante, pois não deixa resíduos de produtos químicos nos alimentos. Em seu estudo, Frasson (2022) submeteu a farinha de arroz a modificação física através de tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) via micro-ondas e autoclave, e reportou que

o amido modificado apresentou menor digestibilidade *in vitro*, havendo uma redução de 30% no índice glicêmico. Semelhante a outras frações de fibra dietética, o amido modificado resistente pode desempenhar funções importantes, reduzindo o índice glicêmico dos alimentos, aumentando a saciedade e melhorando as funções digestivas (FUENTES-ZARAGOZA et al., 2011).

O uso de amido modificado para elaboração de um produto de panificação sem glúten pode se tornar benéfico para os consumidores. Além disso, a substituição do óleo de soja, que é o mais usual, por óleo de abacate, pode ampliar os benefícios à saúde de quem consumir este alimento. O óleo de abacate possui uma composição química semelhante ao azeite de oliva, especialmente quando comparados em relação aos perfis de ácidos graxos, predominando em ambos o ácido oleico (COSTA et al., 2021), ainda, é rico em  $\beta$ -sitosterol, carotenoides, compostos fenólicos e esqualeno (DOS SANTOS et al., 2014; KRUMREICH et al., 2018; COSTA et al., 2021), sendo utilizado como coadjuvante no tratamento de hiperlipidemias, reduzindo o risco de doenças cardíacas, além de mostrar efeito protetivo contra catarata, diabetes e câncer de próstata (VIVERO et al., 2019).

De acordo com o exposto, acredita-se que existam benefícios na produção de um produto de panificação sem glúten com amido de arroz modificado por tratamento de baixa umidade e óleo de abacate, tanto referente à saúde dos consumidores quanto a padrões físico-químicos, nutricionais e sensoriais do produto. Assim, são necessários esforços para o desenvolvimento e garantia de qualidade do produto, visando identificar a extensão dos benefícios, bem como sua vida útil.

## **2. Hipóteses**

É possível o desenvolvimento de um bolo, isento de glúten, à base de amido de arroz modificado por TTBU com inserção de óleo de abacate, apresentando boas propriedades tecnológicas. O produto deve mostrar características sensoriais similares ou melhores que a versão padrão, com amido nativo, apresentando redução de digestibilidade e o índice glicêmico. O bolo será microbiologicamente seguro para o consumo, contendo maior teor de compostos benéficos à saúde, além de adequada estabilidade para fins de comercialização.

### **3. Objetivos e Metas**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Empregar óleo de abacate e amidos de arroz modificados por tratamento térmico de baixa umidade na elaboração de bolo isento de glúten e avaliar parâmetros físico-químicos, nutricionais, tecnológicos, microbiológicos, sensoriais e a vida útil dos produtos elaborados.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Modificar o amido por tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) na presença de óleo de abacate para formar complexos de inclusão.
- Determinar a composição centesimal dos produtos elaborados.
- Avaliar parâmetros físicos e tecnológicos como alveolação, textura, cor e volume específico dos bolos.
- Identificar as características sensoriais, como textura, sabor, cor e preferência dos bolos.

#### **3.3 Metas**

Deseja-se ampliar estas informações, em especial, visando disponibilizar dados sobre o perfil tecnológico e nutricional do amido em questão, e de possíveis ganhos de sua aplicação em produtos isentos de glúten, que resultem em formulações de bolo com características sensoriais apreciadas pelos consumidores e ampla vida útil.

## 4 Revisão de Literatura

### 4.1 Glúten – definição, importância, restrições

O glúten inclui uma mistura de proteínas prevalentes em grãos, como o trigo, centeio e cevada (WIESER, 1996), exerce um papel fundamental nos alimentos, principalmente os de panificação, proporcionando viscoelasticidade da massa (GALLAGHER et al., 2004). O glúten é composto por duas frações de proteínas: as prolaminas e as glutelinas, sendo especificamente denominados no trigo de gliadina e glutenina, respectivamente. A primeira é responsável pela consistência e viscosidade e a segunda pela elasticidade da massa (QUINTAES, 2008), a rede formada por ambas, em presença de água, é capaz de reter dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) produzido pelas leveduras, sendo responsável pelo crescimento da massa (RAMOS et al., 2021). O trigo é o único cereal que apresenta essas proteínas em quantidade adequada para formar o glúten de interesse industrial. A falta dessas proteínas afeta a estrutura da matriz dos alimentos ao reduzir a rede formada (PADALINO et al., 2016), provocando mudanças sensoriais, modificando em conjunto a textura, cor e aparência (ANDRADE et al., 2011). Devido à essas alterações, diversos estudos e testes de formulações tem-se intensificado visando à produção de alimentos sem glúten de forma mais semelhante aos alimentos convencionais.

Segundo Biesiekierski (2015), o aumento de pessoas com problemas de saúde pelo consumo de cereais que contenham glúten ou seus derivados é crescente. Essa população pode apresentar diversas patologias relacionadas ao glúten, sendo elas: a DC, diagnosticada como uma doença autoimune, SNCG, AT e também síndrome do intestino irritável. Para os portadores dessas patologias, o único tratamento disponível é a adesão de uma dieta isenta de glúten e seus resquícios (SKENDI et al, 2021), entretanto, a dieta isenta dessas proteínas se torna difícil, principalmente com relação à disponibilidade de produtos de mesmo, ou semelhante, sabor e textura dos alimentos com glúten, estima-se a adesão a essa dieta em apenas 45-80% das pessoas que necessitam realizar essa dietoterapia (NADHEM et al., 2015).

A DC é uma alteração sistêmica imunomediada induzida pelo glúten (HUSBY et al., 2012), em todo o mundo, estudos demonstram o aumento na ocorrência da DC (LOHI et al., 2011). Segundo a Federação Nacional de Celíacos no Brasil, ainda não há um estudo multicêntrico para a determinação da prevalência de DC no país, embora já existam pesquisas em alguns municípios, alertando sobre o aumento da DC. Quanto a AT,

segundo o Colégio Americano de Alergia, Asma e Imunologia no ano de 2014, esta desenvolve-se através de uma sensibilidade do sistema imunológico, reagindo a qualquer alimento com trigo, sendo o inibidor alfa-amilase um dos alérgenos com maior apresentação na alergia alimentar medida por igE (KIRSI et al., 2022), os portadores de AT geralmente não manifestam reações ao centeio e a cevada (POMIECINSKI et al., 2017). A SNCG é a condição mais comum das reações relacionadas ao consumo do glúten (MANSUETO, et al 2019), como etiologia é frequentemente relacionada a dieta, microbiota intestinal e possíveis fatores genéticos (NAVARRO et al., 2015), a fisiopatologia da SNCG é associada a um estado de ativação imune sistêmica em conjunto com um epitélio intestinal comprometido (UHDE et al., 2016), diversas pesquisas associam SNCG a alguma condição gastrointestinal, como síndrome do intestino irritável (ELLI et al., 2016).

Em contrapartida, os alimentos sem glúten não são apenas consumidos pelos portadores da DC e demais problemas digestivos relacionados, há um outro grupo de consumidores em que o objetivo em limitar o glúten na dieta tem por principal objetivo gerar benefícios à saúde (SKENDI et al., 2021). Sendo assim, é crescente a demanda no mercado para produtos sem glúten, estimando-se que o aumento atinja 8,3 bilhões de dólares no ano de 2025 (WUNSCH, 2020).

De acordo com Skendi et al. (2021), a indústria de alimentos tem cada vez mais se esforçado no desenvolvimento e fabricação de produtos sem glúten, desafiando principalmente, o setor de panificação, pelo aumento da procura por pães, bolos e demais produtos. Em vista que, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (ABIP), os produtos de panificação representam um consumo expressivo no país, em média 33,5 kg por ano por pessoa.

#### **4.2 Amido em substituição a farinha com glúten**

O amido é um dos polímeros básicos de armazenamento em muitas plantas, consistindo em dois tipos de moléculas: amilopectina ramificada e amilose linear. As diferenças nas estruturas desses dois polímeros resultam em alterações nas suas propriedades, sendo a amilose mais propensa ao processo de retrogradação e podendo formar géis resistentes, em contrapartida a amilopectina apresenta as variações contrárias, podendo ser dispersa na água formando géis fracos (FREDRIKSSON et al., 1998; WITCZAK et al., 2016). Devido às características atribuídas aos amidos, os produtos nos quais eles são incorporados para realizar a substituição ao glúten, sofrem

alterações em textura, consistência e sabor, afetando diretamente a aceitação do consumidor (GAO et al., 2018). A melhoria desses produtos tem sido intensificada na seleção de materiais e métodos de processamento modificados (MARCELLA et al., 2012; GIUBERTI et al., 2015), evidenciando a importância dos amidos modificados na linha de produção da panificação sem glúten. Entre os amidos, o obtido da farinha de arroz é amplamente utilizado, por apresentar um sabor neutro, que facilita sua aplicação em diversos produtos de panificação, além disso, um fator de relevância, é que a farinha de arroz é hipoalergênica, podendo atender a diversos consumidores (GAO et al., 2018).

Os produtos sem glúten diferem em suas contagens de peptídeos totais não digeríveis, assim afetando diretamente no aumento da digestibilidade do produto (WU et al., 2017). Segura e Rosell (2011) realizaram um estudo no qual obtiveram como resultado produtos sem glúten em que a farinha de trigo foi substituída por amidos apresentando grande variação na composição de nutrientes e alta digestibilidade, contudo, nenhuma delas sendo à base de amido modificado. A alta digestibilidade nesses produtos influencia a saúde do consumidor, devido a acelerada absorção dos carboidratos pelo organismo (DEGÁSPARI et al., 2008), iniciando a digestão através da amilase salivar e obtendo a conversão em glicose através da amilase pancreática e dissacaridases no intestino (RAMOS et al., 2009). Assim proporcionando um alimento de alto índice glicêmico e sem nenhuma atividade benéfica, considerando que, quando uma fração de amido permanece sem ser digerida, apresenta atividades prebióticas, contribuindo para a saúde do cólon intestinal (KAUR et al., 2010) ainda, deve-se considerar que o amido apresenta limitações em sua aplicação pela sua tendência a retrogradação e também a sua baixa estabilidade ao calor (TSAI; LAI, 2021).

Para a indústria de alimentos e também para o consumidor, a aplicação de amidos modificados vem se tornando fundamental na linha de produção da panificação sem glúten, havendo diversas maneiras alternativas para a realização de modificação no amido, podendo ser por via química, física ou enzimática (VAN de BIJ, 1976).

Hagenimana et al. (2006) realizaram um estudo *in vitro* sobre o efeito do cozimento por extrusão de frações de amido, utilizando farinha de arroz como fonte de amido para modificação. Em relação à digestibilidade, comparada a farinha de arroz crua, o amido modificado por extrusão apresentou maiores valores. O cozimento por extrusão é responsável pela degradação do amido e por alterar a extensão de associações moleculares, sendo esta uma possível explicação para o resultado do estudo. Usando um outro método de modificação, Wang et al. (2020) encontraram melhoria nos grãos de

arroz extrusados por tecnologia de sopro auxiliado por micro-ondas, redução significativa da digestibilidade *in vitro*, além de mudança sensorial no grão. A redução da digestibilidade é um fator primordial para a panificação sem glúten, entretanto, é necessário analisar e averiguar os métodos de modificação dos amidos para que esse benefício chegue ao consumidor.

De acordo com o estudo de Frasson (2022), a modificação do amido de arroz executada de forma física se torna interessante, pois não utiliza produtos químicos, assim, não deixando resíduos nos alimentos. A modificação física através de tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) acontece quando o amido é submetido a temperaturas superiores a temperatura de gelatinização com umidade insuficiente para completa gelatinização dos grânulos, o que reduz o poder de inchamento, reduz a solubilidade, e aumenta a estabilidade ao aquecimento. Assim, o grupo de pesquisa responsável pela pesquisa vem estudando a modificação do amido de arroz buscando ampliar suas aplicações na indústria alimentícia, em especial visando beneficiar os consumidores. Frasson (2022) avaliou o amido de arroz modificado por TTBU via microondas e autoclave e, segundo seus achados, o amido modificado apresentou menor digestibilidade *in vitro*, havendo uma redução de 30% nos valores estimados de índice glicêmico.

#### **4.3 Produtos com amidos modificados na redução de índice glicêmico**

Pesquisas ao redor do mundo mostram um aumento na prevalência da DC em pacientes portadores de diabetes mellitus tipo 1 (DM1). Aproximadamente dois terços dos pacientes portadores da DM1 são assintomáticos para DC no momento do diagnóstico (WEISS et al., 2017). Assim como a DC, a DM1 é uma doença autoimune e compartilha uma base genética comum (SMYTH et al., 2008). A DM1 é caracterizada por ser uma doença autoimune órgão-específica, causando a destruição seletiva das células beta-pancreáticas, pela infiltração progressiva de células inflamatórias, as manifestações clínicas da DM1 surgem, em média, quando 80% das células beta tenham sido destruídas (FERNANDES et al., 2005; LIU; EISENBARTH, 2002). Assim, o índice glicêmico é um fator primordial na dieta e qualidade de vida de portadores da DM1, sendo esse um conceito para classificação de carboidratos com base em seus efeitos na glicemia pós-prandial. O índice glicêmico é definido como a área incremental de glicose após a ingestão de alimento (JENKINS et al., 1980).

Em relação à taxa de digestão e o teor de glicose liberado, o índice glicêmico previsto pode ser obtido analisando a glicose sanguínea pós-prandial, sendo o índice

glicêmico mais baixo classificado como positivo para pacientes com baixa tolerância à glicose, como os diabéticos (WEISS et al., 2016). Relacionando o índice glicêmico com a panificação sem glúten, o amido tem um papel importante na nutrição, como também no fornecimento de energia. Assim, para atender a esses requisitos, muitas pesquisas modificaram o amido através de técnicas químicas, físicas e enzimáticas (TSAI; LAI, 2021), gerando características únicas ao amido com o intuito de melhorar a estabilidade térmica, estabilidade mecânica (NA, et al., 2020) e digestibilidade (KATHUN et al., 2019), assim, contribuindo para um menor índice glicêmico.

Semelhante a outras frações de fibra dietética, o amido resistente pode desempenhar funções importantes, reduzindo o índice glicêmico dos alimentos, aumentando a saciedade e melhorando as funções digestivas (FUENTES-ZARAGOZA et al., 2011). A presença do amido resistente nos alimentos tem um efeito benéfico sobre a glicemia, reduzindo seu nível pós-prandial (BIRT et al., 2013). Chung et al. (2008), realizaram um estudo para verificar a digestibilidade *in vitro* e índice glicêmico em amido de milho modificado quimicamente através de oxidação, acetilação, hidroxipropilação e reticulação, como resultado foi verificado melhor desempenho para o amido modificado por hidroxipropilação, com ganho tanto nas propriedades físicas como na digestibilidade, com redução do índice glicêmico do produto. O estudo de Li e colaboradores (2019) compararam o amido de arroz nativo e o amido de arroz modificado através de tratamentos sequenciais com beta-amilase, transglucosidase e pululanase, antes e após tempo de cozimento, o estudo mostrou que tanto antes da cocção quanto após, o amido de arroz modificado apresentou melhores índices glicêmicos comparados ao amido de arroz nativo. Sugere-se, então, explorar novos produtos à base de amido de arroz modificado com redução do índice glicêmico, a fim de ampliar as aplicações industriais e gerar benefícios aos consumidores.

#### **4.4 Óleo de abacate: composição, características e aplicações**

O abacate é uma fruta rica em vitaminas lipossolúveis, principalmente vitamina A e B, possui quatro vezes mais valor nutricional que outra fruta, com exceção da banana, apresentando proteína, vitaminas lipossolúveis, ácido fólico, e quantidade importante de micronutrientes, como o cálcio, potássio, sódio e fósforo (DEMBITSKY et al., 2011). Além disso, o abacate contém diferentes teores de óleo na polpa, sendo amplamente utilizado na indústria farmacêutica e cosmética (DUARTE et al., 2016).

O óleo de abacate possui uma composição química semelhante a composição do azeite de oliva, além dos dois produtos serem extraídos do fruto, são similares quando comparados em relação aos perfis de ácidos graxos, predominando o ácido oleico (COSTA et al., 2021), porém diferem com relação a maior quantidade de vitamina E e carotenóides presentes no óleo de abacate (FORERO-DORIA et al., 2017). As variedades de abacate mais interessantes para a extração do óleo são: Quintal, Hass, Fuerte e Glória, devido ao seu menor percentual de caroço e casca, não afetando o rendimento de extração e os custos de produção (TANGO et al., 2004). No Brasil, uma das variedades mais produzidas e consumidas é a Breda (HOLBACH, 2012), que também mostra bons rendimentos em óleo. Segundo o estudo de Krumreich et al. (2018), foi possível obter mais de 55% de óleo nesta variedade, a partir da polpa desidratada. Os autores também analisaram os compostos bioativos e parâmetros de qualidade do óleo de abacate da variedade Breda, obtido através de diferentes métodos, sendo observado alto conteúdo de carotenoides e compostos fenólicos, comparativamente a azeite de oliva, e excelente atividade antioxidante.

Ao ser comparado com outros óleos vegetais, o óleo de abacate mostra maior conteúdo de ácidos graxos monoinsaturados, como ácido oleico e palmitoleico, baixos teores de ácidos graxos poliinsaturados, e níveis de ácido graxo saturado relativamente alto, como o ácido palmítico e esteárico. A composição do óleo de abacate é diretamente influenciada pelo cultivo, estágio de maturação do fruto e região geográfica do abacateiro (TANGO et al., 2004). Em conjunto, o óleo de abacate contém outros compostos bioativos, os quais estão presentes na fração insaponificável, são eles: polifenóis, tocoferóis, fitoesteróis, carotenóides, álcoois alifáticos, álcoois terpênicos, tocoferóis e esqualeno (DOS SANTOS et al., 2014; KRUMREICH et al., 2018; RAMADAN, 2019; COSTA et al., 2021), tornando-o um alimento com grandes benefícios à saúde, como por exemplo a presença de tocoferóis no óleo, que confere atividade antioxidante ao produto, combatendo a oxidação lipídica (DIAS, et al., 2015).

Por ser rico em  $\beta$ -sitosterol e ácido oleico, é utilizado como coadjuvante no tratamento de hiperlipidemias. Estudos evidenciam que o consumo de dietas ricas em gorduras monoinsaturadas, em substituição às gorduras saturadas, exerce grandes impactos na saúde, reduzindo os níveis de colesterol total, triglicerídeos e LDL-colesterol (TURATTI et al., 2002). Em uma pesquisa realizada por Ramirez et al. (2018), na qual suplementaram óleo de abacate em ratos hipertensos, foi observado que o óleo de abacate diminuiu 21,2% a pressão arterial diastólica e 15,5% a pressão arterial sistólica, o

estudo concluiu que o óleo de abacate imita os efeitos do fármaco losartana, usualmente usado para pacientes com hipertensão arterial. O estudo experimental de Sánchez-Briones et al. (2015), também acrescenta sobre outros efeitos positivos do óleo de abacate à saúde, neste, foram divididos grupos de ratos Wistar após serem submetidos a diabetes por administração intraperitoneal de *Streptozotocin* (STZ), esse sendo um indutor de diabetes, os grupos 1 e 2 sendo normoglicêmicos e diabéticos não foram tratados com óleo de abacate, já os grupos 3 e 4 sendo, respectivamente, normoglicêmicos e hiperglicêmicos, foram alimentados com dieta para roedores mais óleo de abacate, esse administrado via oral com a dose de 1 mL 250 g<sup>-1</sup> de peso por 90 dias. Como conclusão, o estudo mostrou que o óleo de abacate reduz o estresse oxidativo e peroxidação lipídica nas mitocôndrias, não apresentando notáveis efeitos hipoglicêmicos, mas grandes efeitos com relação a hiperlipidemia, mostrando a necessidade da continuidade em estudos experimentais com óleo de abacate relacionado a hiperlipidemia e funções hepáticas. Os autores mencionaram que o óleo de abacate é um produto com um grande diferencial para a saúde, seguro e eficaz para inclusão na dieta e em dietoterapias.

Sendo assim, há inúmeras possibilidades da inserção do óleo de abacate na dieta. Há a possibilidade de utilizar o óleo de abacate puro em substituição ao azeite e demais óleos utilizados na culinária, como também a mistura de azeite de oliva com óleo de abacate (SALGADO et al., 2008; DUARTE et al., 2016). Desta maneira, vislumbra-se a possibilidade e benefícios na substituição dos lipídios usualmente empregados em produtos de confeitaria e/ou panificação por óleo de abacate.

#### **4.5. Características microbiológicas de produtos de panificação**

Sabe-se que um dos fatores determinantes para o bem estar, manutenção da saúde e o equilíbrio nutricional, de forma segura e eficaz, é a ingestão de alimentos capazes de nutrir o organismo com adequada qualidade microbiológica (SACCOL et al., 2006). Para isso, o Ministério da Saúde estabelece a lista de padrões microbiológicos para alimentos através da Instrução Normativa de nº 161 (BRASIL, 2022), visando proporcionar alimentos seguros aos consumidores, incluindo pães, bolos, bolachas, biscoitos e outros produtos de panificação estáveis a temperatura ambiente.

Ressalta-se a importância das análises microbiológicas em produtos de panificação por dois motivos: impedir o surgimento de doenças transmitidas por alimentos (DTA), como também avaliar a estabilidade do produto. As DTA's têm sido causas de

investigações e pesquisas, por serem caracterizadas como um quadro de mal estar, mas que podem provocar sintomatologias mais graves ao indivíduo contaminado (MEDEIROS et al., 2017). A estabilidade das características físico-químicas e microbiológicas varia de acordo com o tempo e a forma de armazenamento, tornando importante a avaliação destes parâmetros ao longo da estocagem do produto (BORGES et al., 2010; APHA, 2001).

Entre as bactérias citadas pela Instrução Normativa nº 161 (BRASIL, 2022) para controle da qualidade na categoria de bolos, pães e produtos de panificação, tem-se a *Escherichia coli*, que é uma bactéria em forma de bastonete, do tipo anaeróbia facultativa. Esse microrganismo pertence ao grupo das bactérias Gram-negativas, possui uma parede celular de peptidoglicano menos espessa, além de uma camada de lipopolissacarídeo. As bactérias desse grupo são indicadoras das condições higiênicas e sanitárias dos alimentos, pois seu principal *habitat* é o trato gastrointestinal dos seres humanos (TORTORA; FUNKE; CASE, 2017), também são subdivididas de acordo com a origem e mecanismos patogênicos em *E. coli* enteroagregativa (EAEC), *E. coli* enterohemorrágica (EHEC), *E. coli* enteroinvasiva (EIEC), *E. coli* enteropatogênica (EPEC) e *E. coli* enterotoxigênica (ETEC) (NATARO e KAPER, 1998).

*Salmonella* spp. é um gênero formado por bactérias Gram-negativas, em forma de bacilos e, em sua maioria, móveis, não esporuladas. A salmonelose, doença causada por bactérias do gênero *Salmonella*, é uma das doenças que trazem transtorno à saúde pública mundial. Há relatos de diversos surtos dessa doença, o que justifica a pesquisa sobre a presença desse patógeno em alimentos (PENTEADO; CASTRO, 2016).

Os fungos filamentosos (bolores) também representam um potencial risco à saúde, em vista que diversas espécies destes micro-organismos são responsáveis pela produção de micotoxinas (ALHADAS et al., 2004). As leveduras são fungos unicelulares, diferente dos bolores, são anaeróbicas, mas que se multiplicam rapidamente (TORTORA; FUNKE; CASE; 2017). O estudo de Borges et al. (2010) avaliou parâmetros físico-químicos e microbiológicos de uma pré-mistura de bolo elaborada com 60% de farinha da banana verde, em que não foram encontrados bolores e leveduras, no mesmo estudo, também não se detectou a presença de *Salmonella* spp., achados importantes para classificar o produto como um alimento seguro para consumo.

A estabilidade dos produtos alimentícios é diretamente influenciada pelas matérias-primas usadas na elaboração dos mesmos, como também pelo método de embalagem e de armazenamento (APHA, 2001). Gomes et al. (2014) avaliaram a

estabilidade microbiológica e físico-química de misturas para bolo sem glúten ao longo de 240 dias, nestas misturas foi realizada a substituição da farinha de trigo por farinha de quirera de arroz crua e farinha de bandinha de feijão extrusada, os pesquisadores realizaram a mistura pré-bolo, além do preparo do bolo para consumo. Nesse experimento observou-se que, as farinhas e as misturas mantiveram-se dentro dos padrões microbiológicos, o bolo pronto para consumo foi analisado nos tempos 0, 30, 60, 105, 150, 195 e 240 dias e também esteve dentro dos padrões microbiológicos.

A partir das observações da literatura, verifica-se que diversos aspectos são importantes para o desenvolvimento de um produto alimentício isento de glúten, pois além das propriedades tecnológicas, as características físico-químicas, sensoriais e microbiológicas, são também relevantes.

## **5 Materiais e Métodos**

### **5.1 Materiais**

Para extração do amido foi utilizada farinha de arroz (*Oryza sativa* L.), cedida gentilmente pela Empresa Cerealle, Pelotas/RS. Também foi utilizado óleo de abacate da variedade Breda, extraído por centrifugação da polpa, cujas amostras serão doadas por um produtor de São Sebastião do Paraíso/MG. As matérias-primas para o preparo dos bolos foram adquiridas no comércio local. Os reagentes necessários às análises foram todos de grau de pureza analítica.

### **5.2 Métodos**

#### **5.2.1 Extração do amido de arroz**

A extração de amido foi realizada segundo o método descrito por Wang e Wang (2004), com as modificações propostas por Frasson (2022). Para tanto, a farinha de arroz foi adicionada de solução de NaOH 0,18% na proporção de 1:2 (m/v) e deixada em repouso durante 18 horas sob refrigeração ( $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ ). Após, a dispersão foi homogeneizada utilizando liquidificador (Modelo Phillips Walita<sup>®</sup>, Brasil) durante 2 minutos. O material resultante foi passado em peneira de 75  $\mu\text{m}$  e centrifugado (K14-4000, Kasvi<sup>®</sup>, Brasil) a 1200 g durante 5 minutos à temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ ). O sobrenadante foi descartado e o precipitado ressuspenso em solução de NaOH 0,18%, sendo centrifugado novamente, em operação realizada por duas vezes. O amido extraído foi disperso com água destilada e neutralizado com HCl 1 mol.L<sup>-1</sup> até pH 6,5, sendo na

sequência centrifugado. O material sedimentado foi ressuspenso em água destilada e centrifugada, em operação repetida por duas vezes. O amido resultante foi seco em estufa com circulação de ar a 40 °C até atingir umidade de 10% ± 0,5.

### **5.2.2 Modificação do amido de arroz por TTBU**

A modificação do amido por TTBU foi realizada segundo o método descrito por Horndok e Noomhorm (2007), com as modificações propostas por Frasson (2022). No amido de arroz foi adicionada a quantidade de água destilada necessária para atingir 30% (p/p) de umidade e 8% de óleo de abacate, e foi procedida a homogeneização por 5 minutos em uma batedeira planetária (Arno®, Brasil). Após, a amostra permaneceu em repouso na geladeira a 4 °C por 24 horas para uniformização da umidade. Na sequência, a modificação na autoclave (Autoclave vertical 503, ELETROlab®, Brasil), sendo os amidos acondicionados em frascos de vidros transparente de 500 mL vedados, aquecidos a 110 °C por 1 hora. Após esse tempo foram retirados da autoclave e deixados em caixa de isopor tampada para resfriamento lento por 24 horas.

### **5.2.3 Avaliação dos amidos modificados**

#### **Poder de inchamento e solubilidade**

O poder de inchamento e a solubilidade dos amidos foram determinados na temperatura de 90 °C, conforme método descrito por Leach et al. (1959). A determinação envolve a suspensão em tubos de centrifuga de 1 g de amido em 50 mL de água aquecida. Após 30 minutos de aquecimento em banho-maria, os tubos foram resfriados à temperatura ambiente e centrifugados (K14-4000, Kasvi, Brasil) a 1000 g por 20 minutos. O sobrenadante foi coletado e seco em estufa (105 °C) até peso constante para a quantificação da fração solúvel. Os tubos, previamente tarados, contendo os grânulos de amido intumescidos, foram pesados para determinar o poder de inchamento. A solubilidade foi calculada pela relação da massa solúvel e a massa inicial de amido, expressa em porcentagem, enquanto o poder de inchamento foi obtido pela relação da massa final intumescida pela massa inicial de amido, sendo descontada a quantidade de amido solúvel, expresso em porcentagem.

#### **Capacidade de absorção de água**

Em tubos Falcon de 15 mL foram pesados 0,2 g de amostra, adicionados 5 mL de água destilada e realizada a homogeneização em vórtex durante 1 minuto. A mistura

permaneceu em repouso por 30 minutos à temperatura ambiente (22 – 25 °C) e na sequência foi centrifugada por 15 minutos à 1200 g. O sobrenadante foi retirado e pesado o conjunto tubo de Falcon e amostra.

A capacidade de absorção de água (CAA) foi calculada através da Equação 1:

$$CAA (\%) = \frac{\text{Peso do sedimento (g)}}{\text{Peso da amostra seca (g)}} \times 100 \quad (1)$$

### Capacidade de absorção de óleo

Foram usados tubos Falcon de 15 mL em que se pesou 0,2 g de amostra finamente moída, foram adicionados 3 g de óleo de abacate e procedeu-se a homogeneização em vórtex durante 1 minuto. A mistura permaneceu em repouso por 30 minutos à temperatura ambiente (22 – 25 °C) e após foi centrifugada (K14-4000, Kasvi, Brasil) por 20 minutos à 1200 g. O sobrenadante decantou e foi drenado por 20 minutos em um ângulo de 45°. O sedimento no tubo da centrífuga, após a separação do sobrenadante, foi pesado em balança analítica.

A capacidade de absorção de óleo (CAO) foi calculada através da Equação 2:

$$CAO (\%) = \frac{\text{Peso do sedimento (g)}}{\text{Peso da amostra seca (g)}} \times 100 \quad (2)$$

### 5.2.4 Produção do bolo sem glúten

Para elaboração dos produtos, foram utilizados os melhores resultados dos tratamentos utilizados para modificação do amido, a partir de experimentos do presente grupo de pesquisa, reportados na dissertação de Frasson (2022). Portanto, foram utilizados amidos modificados por TTBU, complexados com óleo de abacate.

Paralelamente, se realizou a substituição da gordura, convencionalmente utilizada, por óleo de abacate.

Foi elaborado um bolo isento de glúten, a partir de uma formulação adaptada desenvolvida em testes preliminares.

Os ingredientes nas respectivas quantidades estão indicados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Ingredientes e quantidades utilizadas para o preparo dos bolos.

Ingredientes	Formulação		Quantidades	
	padrão			
Amido de arroz modificado por TTBU e complexado com óleo de abacate	-	-	100 g	100 g
Amido de arroz nativo	100 g	100 g	-	-
Leite Integral	140 mL	140 mL	140 mL	140mL
Óleo de abacate	-	30 g	-	30 g
Óleo de soja	30 g	-	30 g	-
Açúcar	70 g	70 g	70 g	70 g
Ovos	30 g	30 g.	30 g	30 g
Goma xantana	2 g	2 g	2 g	2 g
Fermento químico	6 g	6 g	6 g	6 g
Essência de baunilha	0,4 mL	0,4 mL	0,4 mL	0,4 mL

Os bolos foram preparados acrescentando, inicialmente, os ingredientes em um *bowl*: gema, açúcar e óleo e utilizando uma batedeira (Phillips Wallita) foram misturados durante três minutos na velocidade 3 do equipamento; após foram incorporados o leite integral e a essência de baunilha e misturados sem o auxílio da batedeira; na sequência adicionado o amido de arroz e a goma xantana, após bater durante um minuto na velocidade 2 do equipamento, foram acrescentados as claras em neve e o fermento em pó, incorporados cuidadosamente a mistura. A mistura foi colocada em uma forma untada com gordura e levada ao forno por 30 minutos a 180 °C. Após esfriar os bolos foram armazenados individualmente em sacos *zip lock* de PVC flexível, os quais foram colocados em potes herméticos mantidos em temperatura ambiente até o momento das análises.

A formulação padrão, contendo amido de arroz nativo e óleo de soja, foi elaborada para permitir a avaliação comparativa dos resultados.

### 5.2.5 Avaliações dos produtos elaborados

Os produtos foram avaliados a partir da determinação da composição centesimal, por determinações físicas/tecnológicas (alveolação, textura, cor e volume específico),

nutricionais (digestibilidade *in vitro* e índice glicêmico estimado), químicas (compostos fenólicos e capacidade antioxidante,) sensoriais (textura, sabor, aparência, cor e preferência) e microbiológicas (bolores e leveduras, *Salmonella* e *Escherichia coli*).

#### 5.2.5.1 Composição centesimal

Foram determinados os teores de umidade, fibra bruta, cinzas, proteínas, lipídios, seguindo as indicações da AOCS (2005), sendo os resultados expressos em porcentagem. As análises foram realizadas em triplicatas. O teor de carboidratos foi determinado pela diferença do somatório dos demais constituintes em relação a 100, conforme a Equação 3:

$$\text{Carboidratos\%} = 100 - [\text{umidade \%} + \text{proteína \%} + \text{gordura \%} + \text{fibras \%} + \text{cinzas \%}]$$

(3)

#### 5.2.5.2 Análises físicas

Os parâmetros físicos e tecnológicos avaliados foram: alveolação; textura; volume específico; cor da crosta e do miolo.

##### Alveolação

Características dos alvéolos foram medidas em imagem digitalizada em scanner, medindo a média dos alvéolos presentes em 1 cm<sup>2</sup> (ROSALES-JUÁREZ et al., 2008; GONZALES-BARRÓN e BUTLER, 2006) através do software ImageJ.

##### Textura

A textura do miolo foi determinada através do analisador de textura (TA.XT plus) utilizando método padrão da AACC (74-09), com um probe cilíndrico de 20 mm de diâmetro. Foram analisados a firmeza (N), adesividade (N s), elasticidade, coesividade, mastigabilidade (N) e resistência pelo gráfico TPA. Para a análise foram utilizadas cinco fatias centrais de 25 mm de espessura.

##### Volume específico

O volume específico do produto final foi determinado segundo método de deslocamento de sementes de painço (HSIEH et al., 1991), expresso em cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup>, sendo calculado de acordo com a Equação 4:

$$VE\left(\frac{\text{cm}^3}{\text{g}}\right) = \frac{V}{PP} \quad (4)$$

Em que:

VE: volume específico, dado em  $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ ;

V: volume obtido através de deslocamento de painço, medido em proveta, dado em mL e convertido para  $\text{cm}^3$ ;

PP: peso posterior ao forneamento.

## Cor

Para determinação de cor da crosta e do miolo foi utilizado um colorímetro CR 400 (Konica Minolta Sensing Brasil), através do sistema de leitura CIELAB (*Comission Internatinal de E'clairage*), representado pelos seguintes parâmetros: coordenada  $L^*$  expressa o grau de luminosidade da cor medida ( $L^* = 100 = \text{branco}$ ;  $L^* = 0 = \text{preto}$ ), a coordenada  $a^*$  expressa o grau de variação entre o vermelho (+60) e o verde (-60) e a coordenada  $b^*$  expressa o grau de variação entre o azul (-60) e o amarelo (+60). Os valores  $a^*$  e  $b^*$  foram utilizados para calcular o Croma pela Equação 5:

$$C^* = \left[ (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \right] \quad (5)$$

### 5.2.5.3 Avaliações nutricionais

#### Digestibilidade *in vitro*

A digestão *in vitro* foi simulada de acordo com método proposto por Dartois et al. (2010), utilizando modelo simulado de digestão de duas fases, em condições gástricas e do intestino delgado. Foram adicionados 20 g de bolo, previamente homogeneizado em 100 mL de água destilada, a um reator de vidro encamisado (500 mL de capacidade), com agitação mecânica de 300 rpm. O reator encamisado foi ligado a um banho de circulação de água para manter a temperatura a  $37 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1$ . As diferentes formulações de bolos foram digeridas por 30 minutos em fluido gástrico simulado (SGF), contendo pepsina, pH 1,2. Para realizar o segundo passo de digestão, o fluído intestinal simulado (SIF) contendo pancreatina, amiloglicosidase e invertase foi adicionado à mistura de reação, para simular a digestão no intestino delgado, sendo mantido durante 90 minutos em pH 6,8.

Alíquotas de 0,5 mL foram retiradas nos tempos 0, 15 e 30 minutos de digestão durante a fase gástrica e a 0, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90 minutos de digestão durante fase intestinal, e misturadas com etanol absoluto (3 mL) para paralisar a reação. As amostras foram incubadas com uma solução de amiloglicosidase/invertase como descrito por Bordoli; Kaur; Singh (2012); Dartois et al., (2010); Goñi; Garcia-Alonso; Saura-Calixto, (1997), antes de analisar o teor de glicose, utilizando o ensaio *D-glucose assay* (GOPOD-FORMAT, K-GLUC 05/2008, Megazyme International Ireland Ltd., Ireland). Os resultados foram expressos como percentagem de hidrólise do amido calculado por meio das Equações 6 e 7:

$$SH (\%) = \frac{Sh}{Si}$$

(6)

$$= 0,9 \times \frac{Gp}{Si} \quad (7)$$

Em que:

SH (%): percentual de hidrólise do amido (total);

Sh: quantidade de amido hidrolisado (g);

Si: quantidade inicial de amido (g);

GP: quantidade de glicose produzida (g).

Foi utilizado um fator de conversão (a partir do amido em glicose) de 0,9, o qual é geralmente calculado a partir do peso molecular do monômero de amido/peso molecular de glicose ( $162/180 = 0,9$ ) (BORDOLOI; KAUR; SINGH, 2012; DARTOIS et al., 2010; GOÑI; GARCIA-ALONSO; SAURA-CALIXTO, 1997).

### **Índice glicêmico estimado (IGe)**

O índice glicêmico estimado foi calculado de acordo com metodologia proposta por Goñi et al. (1997), utilizando a cinética da hidrólise do amido, a curva de liberação da glicose obtida durante a análise de digestibilidade *in vitro*, e o índice de hidrólise, com o emprego das Equações 8, 9, 10, 11:

Cinética da hidrólise do amido:

$$C = C_{\infty}(1 - e^{-kt}) \quad (8)$$

Em que:

C: concentração de amido hidrolisado no momento t;

$C_{\infty}$ : concentração de amido hidrolisado a 180 min, reconhecida como concentração de equilíbrio;

k: constante da reação,  $\text{min}^{-1}$ .

Curva de liberação da glicose (CLG):

$$CLG = C_{\infty}(t_f - t_0) - \left(\frac{C_{\infty}}{k}\right)\left[1 - e^{-k(t_f - t_0)}\right] \quad (9)$$

Em que:

$t_f$ : tempo final da hidrólise;

$t_0$ : tempo inicial.

Índice de hidrólise (IH):

$$IH = \left(\frac{CLG_{amostra}}{CLG_{p\tilde{a}o\ branco}}\right) \times 100\% \quad (10)$$

Índice glicêmico estimado (IGe):

$$IGe = 39,71 + (0,549 IH) \quad (11)$$

#### 5.2.5.4 Análises químicas

##### Compostos fenólicos

Inicialmente foram previamente macerados 4 g dos bolos e misturados com 10 mL de álcool etílico P.A., conforme descrito por Jansen-Alves et al. (2019). Realizou-se sonicação (Unique, 1400A, Brasil) por 10 minutos, e após homogeneização dos tubos em vórtex (Turrtec, T2-102, Brasil) por 1 minuto a 12000 rpm. Na sequência, foi realizada a centrifugação (Daiki, 80-2B-DM) a 4200 g por 15 minutos, em uma temperatura controlada de 25 °C.

Para a determinação dos compostos fenólicos foi utilizado o método de Folin-Ciocalteu (BRAND-WILLIAMS et al., 1995). Para isto, 0,5 mL dos extratos dos bolos foram adicionadas a 2,5 mL de reagente de Folin-Ciocalteu 0,2 mol.L<sup>-1</sup>, e após 5 minutos

foi feita a adição de 2 mL de solução de carbonato de sódio (7,5%). A leitura da absorbância foi realizada após 2 horas de repouso, no comprimento de onda de 725 nm em espectrofotômetro (JENWAY 6705 UV/Vis, Espanha). A quantificação foi realizada a partir de uma curva padrão de ácido gálico nas concentrações de 0 a 200 mg.L<sup>-1</sup> ( $y = 0,0047x - 0,0146$ ,  $R^2 = 0,9987$ ). Os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico por grama de amostra (mg EAG.g<sup>-1</sup>) em peso úmido.

### **Atividade antioxidante por ABTS**

A capacidade antioxidante foi avaliada através da captura dos radicais 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolína-6-ácido sulfônico) (ABTS), segundo o método descrito por Rufino et al. (2007). Para isto, 30 µL dos extratos dos bolos foram adicionadas a 3 mL do radical ABTS. A leitura da absorbância foi realizada após 6 minutos de tempo reacional em 734 nm, utilizando um espectrofotômetro (JENWAY 6705 UV/Vis, Espanha). A quantificação foi baseada em uma curva de calibração obtida usando Trolox ( $y = -0,0003x + 0,6607$ ,  $R^2 = 0,9982$ ), e os resultados foram expressos como µmol equivalentes de Trolox (TE) por g de amostra em peso úmido.

#### **5.2.5.5 Análises sensoriais**

A avaliação sensorial foi conduzida no Laboratório de Análise Sensorial do CCQFA/UFPel, com a participação de 50 julgadores não treinados, de ambos os sexos, pertencentes à comunidade acadêmica da UFPel. Foram julgados os atributos aparência, cor, sabor e textura por meio de uma escala hedônica de 9 pontos, em que o valor 1 correspondia a descrição “desgostei extremamente” e o valor 9 a “gostei extremamente” (GULARTE, 2009).

Cada julgador recebeu uma ficha de avaliação e o termo de consentimento livre e esclarecido, juntamente das amostras apresentadas em recipientes descartáveis, de cor branca, codificados com três dígitos aleatórios.

Foi solicitado também aos julgadores que expressassem sua preferência pelas amostras, ordenando-as da mais preferida (1) a menos preferida (3).

O índice de aceitabilidade (IA) foi calculado através da Equação 12:

$$IA (\%) = \frac{A \times 100}{B} \quad (12)$$

Em que:

A: nota média obtida para o produto;

B: nota máxima dada ao produto.

Os resultados são expressos em porcentagem de aceitação.

As análises foram realizadas com a aprovação do Comitê de Ética da FAMED/UFPel, Parecer Consubstanciado CEP N° 4.207.973.

#### **5.2.5.6 Análises microbiológicas**

Foram realizadas as análises de bolores e leveduras, *Salmonella spp.* e *Escherichia coli*, segundo o que é preconizado para pães, bolos, bolachas, biscoitos e outros produtos de panificação, estáveis à temperatura ambiente (BRASIL, 2019), seguindo a metodologia descrita por Downes e Ito (2001).

##### *Salmonella spp.*

Para a análise de *Salmonella spp.* foram adicionados 25 g da amostra em 225 mL de água peptonada tamponada. A amostra foi homogeneizada e incubada a 37 °C por 24 h. A partir dessa diluição foram inoculados 1 mL da diluição para tubos contendo 10 mL de caldo Tetrionato (TT) e caldo Selenito Cistina (SC) seguida de incubação dos tubos a 35 °C por 24 horas. A partir dos caldos seletivos, foram inoculadas uma alçada de cada tubo em placas de ágar Xilose Lisina-Desoxicolato (ágar XLD) e ágar Hektoen (HE). As placas foram incubadas invertidas a 37 °C por 48 horas, sendo analisada a ausência ou presença de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) com características fenotípicas de *Salmonella*, de acordo com o preconizado pela Instrução Normativa SDA-62 de 2003 (BRASIL, 2003). Colônias consideradas características em ágar HE (transparentes, verde azuladas, com ou sem centro preto) e XLD (cor de rosa escuro, com centro preto e uma zona avermelhada levemente transparente em redor) foram submetidas a testes bioquímicos em Ágar Tríplice Açúcar Ferro (TSI), Ágar Lisina Ferro (LIA), teste de urease e a testes sorológicos com soro polivalente anti-*Salmonella*.

##### *Escherichia coli*

A contagem de *Escherichia coli*, seguiu as definições de American Public Health Association (DOWNES; ITO, 2001). Foram adicionados porções de 25 g de cada amostra de alimento que foi analisado, em 225 mL de solução salina 0,85%, . A partir desta diluição ( $10^{-1}$ ) foram realizadas as diluições seriadas  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$ . Foi inoculado 1 mL de cada uma dessas diluições em nove tubos com caldo Lauryl Sulfato Triptose (LST) contendo tubos de Durhan sendo três tubos por diluição, que foram incubados a 37 °C por 48 horas.

Após o período de incubação, a partir de cada tubo positivo de caldo LST (com formação de gás) foram inoculados tubos com Caldo *Escherichia coli* (EC) contendo tubos de Durhan e incubados em banho-maria a 45 °C por 48 horas. A partir de cada tubo positivo de caldo EC (com formação de gás) foi semeada uma placa com meio de cultura ágar Eosina Azul de Metileno (EMB) e incubada a 37 °C por 24 horas. Após a incubação as colônias com morfologia característica foram identificadas como *E. coli* (com brilho verde metálico com ou sem centro preto) e confirmadas pelo método do IMVIC composto pelos testes de produção de Indol, Reações de Vermelho de Metila, Voges-Proskauer e Citrato.

#### *Bolores e leveduras*

A contagem de bolores e leveduras foi realizada por plaqueamento indireto por superfície, que é recomendada para se obter a contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC). Pesou-se assepticamente uma alíquota de 25 g de cada amostra e realizou-se a diluição em 225 mL de água peptonada 0,1% (APT), homogeneizada, resultando na diluição  $10^{-1}$  e em seguida realizou-se as diluições seriadas  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$ . Posteriormente, foi retirado 0,1 mL de cada diluição e inoculado por plaqueamento superficial com o auxílio da alça de Drigalski em placas contendo ágar batata dextrose acidificado com ácido tartárico 10% (PDA-AC). As placas foram incubadas entre 25-27 °C por 5 dias sem inverter. Os resultados foram expressos em UFC.g<sup>-1</sup>.

#### **5.2.5.7 Avaliação da estabilidade**

A estabilidade dos produtos foi determinada nos tempos 1, 3, 5 e 7 dias após o processamento, por análise sensorial dos atributos: aparência, cor e textura, conforme descrito no item 4.2.5.5; também pela avaliação de cor da crosta e do miolo, conforme

descrito no item 4.2.5.2, e pelas análises microbiológicas de bolores e leveduras descrita no item 5.2.5.6. Ainda, avaliou-se o efeito de embalagens diversificadas durante o tempo de armazenamento, sendo elas: somente *zip lock* (PVC flexível); papel alumínio e *zip lock*; filme de PVC flexível e *zip lock*. Nas embalagens combinadas, após forneamento, o bolo foi coberto por três camadas de filme de PVC flexível e colocado em *zip lock*, já o papel alumínio foi colocado duas camadas e, em seguida o bolo foi inserido em *zip lock*.

Determinou-se ainda, a perda de massa dos bolos, por meio de pesagem, relacionando-se a diferença entre a massa inicial do bolo e a massa obtida ao final de cada tempo de armazenamento (AKHTAR; ABASSI; HUSSAIN, 2010), de acordo com a Equação 13. Os resultados foram expressos em porcentagem de perda de massa.

$$\text{Perda de massa (\%)} = \left[ \frac{(\text{massainicial} - \text{massafinal})}{(\text{massainicial})} \right] \times 100$$

### 5.3 Análise estatística

Todas as análises foram realizadas, no mínimo, em triplicata e os resultados expressos em médias e desvio padrão, sendo a comparação entre as amostras realizada por meio de análise de variância, complementada por teste T ou Tukey, ao nível de 5% de significância, com auxílio do programa *Statistica 7*. O efeito do armazenamento sobre a estabilidade dos produtos foi avaliado por regressão polinomial, através do programa gráfico (Excel), considerando como significativo o valor do coeficiente de determinação mínimo de 0,9 ( $r^2 \geq 0,9$ ).

## 6 Referências

ALHADAS, R.V., STUART, R.M., BEUX, M.R., PIMENTEL, I.C. Contagem de bolores e leveduras em fubá e identificação de gêneros potencialmente toxigênicos. **Visão Acadêmica**, v. 5, n. 2, p. 79-82, 2004.

ANDRADE A.A, et al. Avaliação sensorial de panificação enriquecidos com farinha de feijão branco para pacientes celíacos. **Nutri Gerais: Revista Digital de Nutrição**, v. 5, n. 8, p. 727-738. 2011.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of methods for microbiological examination of foods** 4.ed. 316p. Washington, 2001.

BIESIEKIERSK, J.R.; IVEN, J. Non-coeliac gluten sensitivity: Piecing the puzzle together. **United European Gastroenterology Journal**. v. 3, n. 2, p. 160–165, 2015.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BOARIM, D.S.F. Non-coeliac gluten sensitivity. **International Journal of Nutrology**, v. 11, n. 3, p. 197-202, 2018.

BORDOLOI, A.; KAUR, L.; SINGH, J. Parenchyma cell microstructure and textural characteristics of raw and cooked potatoes. **Food Chemistry**, v. 133, n. 4, p. 1092–1100, 2012.

BORGES, A.M.; PEREIRA, J.; JÚNIOR, A.S.; LUCENA, E.M.P.; SALES, J.C. Estabilidade da pré mistura de bolo elaborada com 60% de farinha de banana verde. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 34, n. 1, p. 173-181, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada Instrução Normativa nº 161, de 1 de julho de 2022, **Diário Oficial da União**, 06/07/2022 Disponível em: [b08d70cb-add6-47e3-a5d3-fa317c2d54b2 \(anvisa.gov.br\)](https://anvisa.gov.br/portal/legislacao/instrucoes-normativas/161-2022)

**Colégio Americano de Alergia. Asma e Imunologia** - Alergia ao Trigo Disponível em: <https://acaai.org/allergies/types/food-allergies/types-food-allergy/wheat-glutenallergy> EUA, 2014

COSTA, F. M da; FRASSON, S. F.; BORGES, C. D.; KRUMREICH, F. D.; ZAMBIAZI, R. C.; MENDONÇA, C.R.B. Thermal stability of avocado oil: a comparative study with rice bran and olive oils. **Revista Chilena de Nutrición**, v. 48, n. 4, p. 556-568, 2021.

DARTOIS, A.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, H. Influence of guar gum on the in vitro starch digestibility - rheological and microstructural characteristics. **Food Biophysics**, v. 5, n. 3, p. 149–160, 2010.

DEGÁSPARI, C.H.; BLINDER, E.W.; MOTTIN, F. Perfil nutricional do consumidor de barras de cereais. **Visão Acadêmica**, v. 9, n. 1, 2008.

DEMBITSKY, V.M. et al. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. **Food Research International**, v.44, p.1671-1701, 2011.

DIAS, L. S.; MENIS, M. E. C.; JORGE, N. Effect of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) extracts on the oxidative stability and sensory acceptability of soybean oil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 95, n. 10, p. 2021-2027, 2015.

DOWNES, F.D.; ITO, K. Compendium of methods for the examination of foods. 4.ed. Washington: **American Public Health Association (APHA)**, 2001.

DUARTE, P.F.; CHAVES, M.A.; BORGES, C.D.; MENDONÇA, C.R.B. Avocado: characteristics, health benefits and uses. **Ciência Rural**, v. 46, n. 4, p. 747-754, 2016.

CHUNG, H.J.; SHIN, D.H.; LIM, S.T. In vitro starch digestibility and estimated glycemic index of chemically modified corn starches. **Food Research International**, v. 41, n. 6, p. 579-585, 2008.

ELLI, L.; TOMBA, C.; BRANCHI, F.; et al. Evidence for the presence of nonceliac gluten sensitivity in patients with functional gastrointestinal symptoms: results from a multicenter randomized double-blind placebo-controlled gluten challenge. **Nutrients**, v. 8, n. 2, p. 84-97, 2016

Federação Nacional de Celíacos no Brasil, **FENACELBRA**, <https://www.fenacelbra.com.br/prevalencia-da-doenca-celiaca>

FERNANDES, A.P.M.; PACE, A.E.; ZANETTI, M.L.; FOSS, M.C. Fatores imunogenéticos associados ao diabetes mellitus do tipo 1. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 13, n. 5, p. 743-749, 2005.

FORERO-DORIA, O.; GARCÍA, M. F.; VERGARA, C. E.; GUZMAN, L. Thermal analysis and antioxidant activity of oil extracted from pulp of ripe avocados. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 130, n. 2, p. 959–966, 2017.

FRASSON, Sabrina Feksa. **Modificação de amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade adicionado de óleo de abacate: processo via autoclave versus micro-ondas**. 2022. 126 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição e Alimentos) –Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2022.

FRANK, J. F.; YOUSEF, A. E. Tests for groups of microorganisms. In: WEHR, H.M. & FRANK, J.F (Eds.), Standard methods for the examination of dairy products, 17th Ed. **American Public Health Association**, Washington, D. C., 2004.

FREDRIKSSON, H.; SILVERIO, R., ANDERSSON, A.; ELIASSON, C.; AMAN P. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 35, n 3–4, p. 119-134, 1998.

FUENTES-ZARAGOZ, E.; SÁNCHEZ-ZAPATA, E.; SENDRA, E.; SAYAS, E.; NAVARRO, C.; FERNANDÉZ-LOPEZ, J.; PÉREZ-ALVAREZ, J. A. Resistant starch as prebiotic: A review. **Starch-Stärke**, v. 63, n. 7, p. 406-415, 2011.

GALLAGHER, E. Formulation and nutritional aspects of gluten-free cereal products and infant foods. In: ARENDT, E.K.; DAL BELLO, F. (Ed.) *Gluten-free cereal products and beverages*. **Burlington: Academic/ Elsevier Science**, n. 14, p. 321-346, 2008.

GAO, J.; CHAIYA, M.; BASURAWAN, B.; BRENNAN, C.; PRINYAWIWATKUL, S. Gluten-free bakery and pasta products: prevalence and quality improvement. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 53, n.1, p. 19-32, 2018.

GIUBERTI G.; GALLO A.; FIORENTINI L.; FORTUNATI P.; MASOERO F. In vitro starch digestibility and quality attributes of gluten free 'tagliatelle' prepared with teff flour and increasing levels of a new developed bean cultivar. **Starch-Stärke**, v. 66, n. 1–5, 2015.

GOMES, L.O.F.; SANTIAGO, R.A.C.; KOAKUZU, S.N.; BASSINELLO, P.Z. Estabilidade microbiológica e físico química de misturas para bolo sem glúten e qualidade dos bolos prontos para consumo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 4, 2014.

GOÑI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v. 17, n. 3, p. 427–437, 1997.

GONZALES-BARRÓN, U.; BUTLER, F. A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumbs features by digital image analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 74, p. 268-278, 2006.

HAGENIMANA, A.; DING, X.; FANG, T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. **Journal of Cereal Science**, v. 43, n. 1, p. 38–46, 2006.

HOLBACH, Juliana Maciel. **Obtenção de corante natural a partir de caroço de abacate (Persea americana)**. 2012. 42p. Dissertação (Graduação em Engenharia de Alimentos) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

HORMDOK, R.; NOOMHORM, A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 10, p. 1723–1731, 2007.

HSIEH, F.; HUFF, H. E.; LUE, E. Twin-screw extrusion of sugar beet fiber and corn meal. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 24, n. 6, p. 495-500, 1991.

HUSBY, S.; KOLETZKO, S.; KORPONAYSZABO, I.R.; MEATIN, M.L.; PHILLIP, A. S.; HAMIR, R.; TRONCONE, R.; et al. European society for pediatric gastroenterology, hepatology, and nutrition guidelines for the diagnosis of coeliac disease. **Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition**, v. 54, n. 1, p. 136–160, 2012.

Instrução Normativa SDA-62. **Secretaria de Agricultura e Abastecimento**. Coordenadoria de Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo. 2003.

JANSEN-ALVES, Cristina et al. Production of propolis extract microparticles with concentrated pea protein for application in food. **Food and bioprocess technology**, v. 12, n. 5, p. 729-740, 2019.

JENKINS, D.J.A.; KENDALL, C.W.C.; EYSEN, G.M.K.; JOSSE, R.G.; SILVERBERG, J.; BOOTH, G.L. Effect of a low-glycemic index or a high-cereal fiber diet on type 2 diabetes:

a randomized trial. **The Journal of the American Medical Association**, v. 300, n. 23, p. 2742-2753, 2008.

KAUR, M.; SANDHU, K.S.; LIM, S.T. Microstructure, physicochemical properties and in vitro digestibility of starches from different Indian lentil (*Lens culinaris*, Carbohydrate Polymers) cultivars. **Baking**, v. 79, n. 2, p. 349-355, 2010.

KHATUN, A., WATERS, D.L., LIU, L. A review of rice starch digestibility: effect of composition and heat-moisture processing. **Starch Stärke**, v. 71, n. 9, p. 1-14, 2019.

KIRSI, M.; JARVINEN-SEPPO, M.D.; Alergia a grãos: Alergênicos e classificação de grãos. **International Journal of Nutrology**, v. 12, n. 1, p. 13-17, 2022.

KRUMREICH, F.D.; BORGES, C.D.; MENDONÇA, C.R.B.; JANSEN-ALVES, C.; ZAMBIAZI, R.C. Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. **Food Chemistry**, v. 257, p. 376-381, 2018.

LEACH, H. W.; McCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v. 36, n. 6, p. 534-544, 1959.

LI, H.; LI, J.; XIAO, W.; CUI, B.; FANG, Y.; GUO, L. In vitro digestibility of rice starch granules modified by  $\beta$ -amylase, transglucosidase and pullulanase. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 136, n. 1, p. 1228-1236, 2019.

LIU, E.; EISENBART, G.S. Type 1A diabetes mellitus-associated autoimmunity. **Endocrinology and Metabolism Clinics of North America**, v. 31, p. 391-410, 2002.

LOHI, S.; MUSTALAHTI, K.; KAUKINEN, K.; LAURILA, K.; COLLIN, P.; RISSANEN, H.; LOHI, O.; et al. Increasing prevalence of coeliac disease over time. **Alimentary Pharmacology & Therapeutics**, v. 26, n.9, p. 1217-1225, 2007.

MANSUETO, P.; SEIDITA, A.; D'ALCAMO, A.; CARROCCIO, A. Non-celiac gluten sensitivity: literature review. **Journal of the American College Nutrition**, v. 33, n. 1, p. 39-54, 2014.

MARCELLA, M.; MARIAPIA, I.; VALENTINA, C.; GRAZIA, S.; MATTEO, N. Effect of the inulin addition on the properties of gluten free pasta. **Food and Nutrition Sciences**, v. 3, n. 1, p. 22-27, 2012.

MEDEIROS, M.G.G.A.; CARVALHO, L.R.; FRANCO, R. M. Percepção sobre a higiene dos manipuladores de alimentos e perfil microbiológico em restaurante universitário. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 2, p. 383-392, 2017.

NA, J.H., KIM, H.R., KIM, Y., LEE, J.S., PARK, H.J., MOON, T.W., LEE, C.J. Structural characteristics of low-digestible sweet potato starch prepared by heat-moisture treatment. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 151, p. 1049-1057, 2020.

NATARO, J. P., KAPER, J. B. Diarrheagenic escherichia coli. **Clinical microbiology reviews**, v. 11, n. 1, p. 142-201, 1998.

NAVARRO, E., ARAYA, M. Sensibilidad no celíaca al gluten: una patología más que responde al gluten. **Revista Medica de Chile**, v. 143, n. 5, p. 619-626, 2015.

PADALINO, L., CONTE, A. & DEL NOBILE, M.A. Overview on the general approaches to improve gluten-free pasta and bread. **Foods**, n. 5, v.4, p. 87, 2016

PENTEADO, A.L.; CASTRO, M.F.P. Detecção de *Salmonella* em tomates (*Lycopersicon esculentum* MILL) pelos métodos FDA-BAM e Mini Vidas-Biomérieux. **Higiene Alimentar**. v. 30, p. 252-253. 2016.

POMIECINSKI, F., GUERRA, V., MARIANO, R., LANDIM, Q. Estamos vivendo uma epidemia de alergia alimentar? **Revista Brasileira de Promoção a Saúde**. v. 30, n.3, p, 1-3, 2017

QUINTAES, K.D. Não Contém Glúten. **Vida e Saúde**, v. 18, n. 2, p. 10-5, 2008

RAMADAN, M. F. Fruit Oils: chemistry and functionality. Cham, Switzerland: **Springer International Publishing**, p. 3-8, 2019.

RAMIREZ, C.A., et al. Comparative effects of avocado oil and losartan on blood pressure, renal vascular function, and mitochondrial oxidative stress in hypertensive rats. **Nutrition**, v. 54, p. 60-67, 2018.

RAMOS, D.P., LEONEL, M., LEONEL, S. Resistant starch in green banana flour. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 3, 2009.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, p. 1231–1237, 1999.

ROSALES-JUÁREZ, M.; GONZÁLEZ-MENDONZA, B.; LÓPEZ-GUEL, E.; LOZANOBAUTISTA, F.; CHANONA-PÉREZ, J.; GUTIÉRREZ-LOPES, G.; FARRERAREBOLLO, R.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G. Changes on dough rheological characteristics and Bread quality as a result of the addition of germinated and nongerminated soybean flour. **Food and Bioprocess Technology**, v. 1, p. 152-160, 2008.

RUFINO, M. D. S. M. et al. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS<sup>o+</sup>. **Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007.

SACCOL, A.N.F.; RUBIM, B.A.; MESQUITA, M.O.; WELTER, L. Importância de treinamento de manipuladores em boas práticas. **Ciências da Saúde**, v. 7, n°1, p. 91-99, 2006

SALGADO, J.M. et al. The avocado oil (*Persea americana* Mill) as a raw material for the food industry. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, p.20-26, 2008.

SÁNCHEZ-BRIONES, et al. Protective effects of dietary avocado oil on impaired electron transport chain function and exacerbated oxidative stress in liver mitochondria from diabetic rats. **Journal Of Bioenergetics and Biomenbranes**, n. 47, v. 4, p. 337-353, 2015.

SANTOS, M. A. Z.; ALICIEO, T. V. R.; PEREIRA, C. M. P.; RAMOS, G. R.; MENDONÇA, C. R. B. Profile of bioactive compounds in avocado pulp oil: influence of the drying processes and extraction methods. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 9, p. 19–27, 2014.

SEGURA, M.E., ROSELL, C.M. Chemical composition and starch digestibility of different gluten-free breads. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 66, n 3, p. 224-230, 2011.

SINGH, N.; KAUR, L.; SANDHU, K. S.; KAUR, J.; NISHINARI, K. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. **Food Hydrocolloids**, v. 20, n. 4, p. 532–542, 2006.

SKENDI, A., PAPAGEORGIOU, M., VARZAKAS, T. High protein substitutes for gluten in gluten-free bread. **Foods**, v. 10, n. 9, p. 1997, 2021.

SMYTH, D.J., PLAGNOL, V., WALKER, N.M., et al. Shared and distinct genetic variants in type 1 diabetes and celiac disease. **New England Journal of Medicine**, v. 359, n. 26, p. 2767-2777, 2008.

STORCK, C.R., BASSO, C., FAVARIN, F.R., RODRIGUES, A.C. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 4, 2015

TANGO, J.S. et al. Physical and chemical characterization of avocado fruits aiming its potencial for oil extraction. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.1, p.17-23, 2004

TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, C.L. **Microbiologia**. 12° ed. Editoria ArtMed, 2017

TSAI, P.C., LAI L.S. In vitro starch digestibility, rheological, and physicochemical properties of water caltrop starch modified with cycled heat-moisture treatment. **Foods**, v. 10, n. 8, 2021

UHDE, M., AJAMIAN, M., CAIO, G., et al. Intestinal cell damage and systemic immune activation in individuals reporting sensitivity to wheat in the absence of coeliac disease. **Gut**, v. 65, n. 12, p. 1930-1937, 2016.

VAN de BIJ, J. The analysis of starch derivatives. Examination and analysis of starch **London: Applied Science Publisher**, p. 189-213, 1976.

VIVERO, A.S.; VALENZUELA, R.B.; VELENZUELA, A.B.; MORALES, G.. Bioactive compounds and potential health benefits of avocado. **Revista Chilena de Nutrición**, v. 46, p.491-498, 2019.

WANG, H.; LIU, Y.; CHEN, L.; LI, X.; WANG, J.; XIE, F. Insights into the multi-scale structure and digestibility of heat-moisture treated rice starch. **Food Chemistry**, v. 242, p. 323–329, 2018.

WANG, SHUJUN; CHAO, C.; CAI, J.; NIU, B.; COPELAND, L.; WANG, SHUO. Starch–lipid and starch–lipid–protein complexes: A comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 13, p. 1056-1079, 2020.

WANG, S.; COPELAND, L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: A review. **Food & Function**, v. 4, n. 11, p. 1564–1580, 2013.

WANG, S.; ZHENG, M.; YU, J.; WANG, S.; COPELAND, L. Insights into the formation and structures of starch-protein-lipid complexes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 9, p. 1960–1966, 2017.

WANG, X., LIU, Z., LI, X., SONG, J., CHEN, L., LI, Y., LIU, X., LI, P. Quality improvement of fresh extruded rice-shaped kernels by microwave-aided puffing technology. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 12, 2020

WEISS, B., PINHAS-HAMIEL, O. Celiac disease and diabetes: when to test and treat. **Journal of Pediatric Gastroenterology & Nutrition**, v.64, n. 2, p. 175-179, 2017.

WIESER H. Relation between gliadin structure and coeliac toxicity. **Acta Paediatrica**, v. 85, p. 3–9, 1996.

WITCZAK M, ZIOBRO R, JUSZCZK L, KORUS J. Starch and starch derivatives in gluten-free systems e A review. **Journal of Cereal Science**, v.67, p. 46-57, 2016.

WU, T.; TAYLOR, C.; NEBL, T.; NG, K.; BENNET, L.E. Effects of chemical composition and baking on in vitro digestibility of proteins in breads made from selected gluten-containing and gluten-free flours. **Food Chemistry**, n. 233, p. 514–524, 2017.

WUNSCH, N.-G. Gluten-Free **Food Market Value Worldwide 2020–2025**. Available online: <https://www.statista.com/statistics/248467/global-gluten-free-food-market-size/>

## **Artigo**

**Amido de arroz modificado e óleo de abacate para elaboração de bolo sem glúten: avaliações físico-químicas, microbiológicas, sensoriais, nutricionais e estabilidade**

**Esse artigo será submetido à Revista Carbohydrate Polymers**

**Título: Amido de arroz modificado e óleo de abacate para elaboração de bolo sem glúten: avaliações físico-químicas, microbiológicas, sensoriais, nutricionais e estabilidade**

**Title: Modified rice starch and avocado oil for gluten-free cake: physical-chemical, microbiological, sensory, nutritional and stability analysis**

**Autores:**

Gabrielle Tomaz Nunes<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos - Universidade Federal de Pelotas. E-mail: [gabriellenunes@hotmail.com](mailto:gabriellenunes@hotmail.com) +5553991404822

Sabrina Feksa Frasson<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal de Pelotas. E-mail: [sfrasson@gmail.com](mailto:sfrasson@gmail.com)

Tailise Beatriz Roll Zimmer<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal de Pelotas. E-mail: [zimmertailise@gmail.com](mailto:zimmertailise@gmail.com)

Rosana Colussi<sup>b</sup>

<sup>b</sup>Professora Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos - Universidade Federal de Pelotas, Brasil. E-mail: [rosana\\_colussi@yahoo.com.br](mailto:rosana_colussi@yahoo.com.br)

Caroline Dellinghausen Borges<sup>b</sup>

<sup>b</sup>Professora Doutora em Biotecnologia Agrícola - Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos - Universidade Federal de Pelotas, Brasil. E-mail: [caroldelling@hotmail.com](mailto:caroldelling@hotmail.com)

Eliezer Ávila Gandra<sup>b</sup>

<sup>b</sup>Professor Doutor em Ciência e Tecnologia Agroindustrial - Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos - Universidade Federal de Pelotas, Brasil. E-mail: [gandraea@hotmail.com](mailto:gandraea@hotmail.com)

Carla Rosane Barboza Mendonça<sup>b</sup>

<sup>b</sup>Professora Doutora em Química - Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos - Universidade Federal de Pelotas, Brasil. E-mail: [carlaufpel@hotmail.com](mailto:carlaufpel@hotmail.com)

**Autor correspondente: Gabrielle Tomaz Nunes**

**Endereço eletrônico: [gabriellenunes@hotmail.com](mailto:gabriellenunes@hotmail.com)**

**Telefone: +5553991404822**

Resumo: O aumento dos casos de doença celíaca ou alterações adversas ao consumo de glúten é crescente na população, com isso, ampliar a oferta de produtos sem glúten têm se tornado um desafio à indústria alimentícia. O amido de arroz modificado por tratamento térmico de baixa umidade (TTBU) e complexado com óleo de abacate, mostra-se uma alternativa para produção de bolos isentos de glúten. Neste contexto, objetivou-se com este estudo empregar amido de arroz modificado e óleo de abacate na elaboração de bolo isento de glúten. Foram elaboradas quatro formulações de bolos, duas delas com amido de arroz modificado por TTBU complexado com óleo de abacate e 2 com amido de arroz nativo, para cada tipo de amido utilizado, realizou-se a substituição da gordura do bolo (óleo de soja) por óleo de abacate. Foram realizadas análises de composição centesimal dos amidos e dos bolos, bem como análise sensorial, microbiológica, alveolação, textura, cor, digestibilidade e atividade antioxidante dos bolos. Os resultados não apresentaram diferenças significativas em valor energético, as quatro formulações obtiveram uma boa aceitação sensorial na escala hedônica de 9 pontos e a análise microbiológica evidenciou que os produtos se encontravam dentro das especificações da legislação vigente. Com relação a textura, o bolo preparado com amido modificado e adicionado de óleo de abacate mostrou resultados satisfatórios, a análise de digestibilidade *in vitro* mostrou que essa formulação apresentou menor digestibilidade. Conclui-se que, há a possibilidade de inserção de amido de arroz modificado por TTBU com óleo de abacate na formulação de bolo isento de glúten com a substituição da gordura por óleo de abacate.

Palavras-chave: complexo amilose-lipídio; bolo sem glúten; glúten *free*; digestibilidade; análise sensorial; avaliação físico-química.

## 1 Introdução

O diagnóstico de reações adversas à saúde pelo consumo de produtos contendo glúten tem sido crescente na população mundial, estas reações podem ser apresentadas de maneiras distintas, como a doença celíaca, alergia ao trigo e sensibilidade não celíaca ao glúten (BOARIM, 2018; KIRSI et al., 2022; NAVARRO et al., 2015). Devido ao aumento de pessoas com essas patologias, a indústria alimentícia tem direcionado esforços no desenvolvimento e fabricação de produtos sem glúten, com destaque para o setor de panificação (SKENDI et al., 2021), pois a viscoelasticidade que o glúten confere aos produtos impõe desafios ao setor industrial, que visa aumentar a disponibilidade de produtos isentos de glúten com bom nível de aceitação pelos consumidores (GALLAGHER et al., 2004).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (ABIP, 2020), os produtos de panificação representam um consumo expressivo no país, em média 33,5 kg por ano por pessoa, motivo o qual implica nos esforços para melhorias

desses produtos no setor isento de glúten. Nesse desenvolvimento, tem-se utilizado amido em substituição às farinhas, entretanto devido às suas características, os produtos nos quais eles são incorporados sofrem alterações em textura, consistência e sabor, afetando diretamente a aceitação do consumidor (GAO et al., 2018). A melhoria desses produtos tem sido intensificada na seleção de materiais e métodos de processamento modificados (MARCELLA et al., 2012; GIUBERTI et al., 2015), evidenciando a importância dos amidos modificados na linha de produção da panificação sem glúten. Entre os amidos, o obtido da farinha de arroz é amplamente utilizado, por apresentar um sabor neutro, que facilita sua aplicação em diversos produtos de panificação, além disso, um fator de relevância, é que a farinha de arroz é hipoalergênica, podendo atender a diversos consumidores (GAO et al., 2018).

A modificação do amido tem diversificado sua aplicação industrial, em especial para os produtos sem glúten, entre eles os bolos. A modificação física do amido se torna interessante, pois não utiliza produtos químicos, não deixando resíduos nos alimentos. A modificação física, denominada tratamento térmico de baixa umidade (TTBU), ocorre quando o amido é submetido a temperaturas acima da temperatura de gelatinização, preservando sua estrutura granular (WANG et al., 2020).

A formação de complexo de inclusão utilizando lipídio com amidos, também pode representar uma estratégia interessante. A adição de lipídio para a formação do complexo de inclusão com amilose através de TTBU é realizada, mais comumente, através do aquecimento sob pressão, em autoclave (FONSECA et al., 2021). Inúmeros fatores podem influenciar no complexo de inclusão, como o comprimento da cadeia do lipídio, grau de saturação do lipídio e razão amilose/amilopectina (ZHENG et al., 2018). A adição de lipídio pode retardar a retrogradação do amido, diminuindo a solubilidade quando o complexo é formado e diminuindo a lixiviação da amilose durante o aquecimento (BECKER et al., 2001). Em estudos de integrantes do presente grupo de pesquisa (FRASSON, 2022), verificou-se que a aplicação do TTBU via autoclave em amido de arroz adicionado de óleo de abacate produz modificações nas propriedades de pasta, propriedades térmicas, cristalinidade relativa, FTIR, digestibilidade *in vitro* e no índice glicêmico estimado, em geral produzindo benefícios ao amido de arroz.

O óleo de abacate possui uma composição química semelhante à do azeite de oliva, predominando em ambos o ácido oleico (COSTA et al., 2021). Comparado com outros óleos vegetais, o óleo de abacate mostra maior conteúdo de ácidos graxos monoinsaturados, como ácido oleico e palmitoleico, baixos teores de ácidos graxos

poliinsaturados e intermediários de ácidos graxos saturados, como o ácido palmítico e esteárico (TANGO et al., 2004).

Para a indústria de alimentos e também para o consumidor, a aplicação de amidos modificados vem se tornando fundamental na linha de produção da panificação e, principalmente dos bolos sem glúten. Dentro deste contexto, o objetivo deste estudo foi modificar o amido de arroz através de tratamento térmico de baixa umidade com inserção do óleo de abacate na formação de complexo de inclusão amilose-lipídio para incorporação no preparo de um bolo isento de glúten e avaliar suas características físico-químicas, microbiológicas, sensoriais e nutricionais.

## **2.1 Materiais e métodos**

### **2.1 Amostra**

Para realização do estudo foi utilizada farinha de arroz (*Oryza sativa* L.), cedida gentilmente pela Empresa Cerealle, Pelotas/RS. Também foi utilizado óleo de abacate da variedade Breda, extraído por centrifugação da polpa, cujas amostras foram doadas por um produtor de São Sebastião do Paraíso/MG. As matérias-primas para o preparo dos bolos foram adquiridas no comércio local. Os reagentes necessários às análises foram todos de grau de pureza analítica.

## **2.2 Métodos**

### **2.2.1 Extração do amido de arroz**

A extração de amido foi realizada segundo o método descrito por Wang e Wang (2004), com as modificações propostas por Frasson (2022). Para tanto, a farinha de arroz foi adicionada de solução de NaOH 0,18% na proporção de 1:2 (m/v) e deixada em repouso durante 18 horas sob refrigeração ( $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ ). Após, a dispersão foi homogeneizada utilizando liquidificador (Modelo Phillips Walita<sup>®</sup>, Brasil) durante 2 minutos. O material resultante foi passado por peneira de 75  $\mu\text{m}$  e centrifugado (K14-4000, Kasvi<sup>®</sup>, Brasil) a 1200 g durante 5 minutos à temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ ). O sobrenadante foi descartado e o precipitado ressuspenso em solução de NaOH 0,18%, sendo centrifugado novamente, em operação realizada por duas vezes. O amido extraído foi disperso com água destilada e neutralizado com HCl 1 mol.L<sup>-1</sup> até pH 6,5, sendo na sequência centrifugado. O material sedimentado foi ressuspenso em água destilada e centrifugado, em operação repetida por duas vezes. O amido resultante foi seco em estufa com circulação de ar a 40  $^{\circ}\text{C}$  até atingir umidade de  $10\% \pm 0,5$ .

### 2.2.2 Modificação do amido de arroz por TTBU

A modificação do amido por TTBU foi realizada segundo o método descrito por Horndok e Noomhorm (2007), com as modificações propostas por Frasson (2022). No amido de arroz foi adicionada a quantidade de água destilada necessária para atingir 30% (p/p) de umidade e 8% de óleo de abacate, sendo procedida a homogeneização por 5 minutos em uma batedeira planetária (Arno®, Brasil). Após, a amostra permaneceu em repouso na geladeira a 4 °C por 24 horas para uniformização da umidade. Na sequência, foi realizada a modificação na autoclave (Autoclave vertical 503, ELETROlab®, Brasil), sendo os amidos acondicionados em frascos de vidros transparente de 500 mL vedados, aquecidos a 110 °C por 1 hora. Após esse tempo foram retirados da autoclave e deixados em caixa de isopor tampada para resfriamento lento por 24 horas.

### 2.2.3 Composição centesimal

Determinaram-se os teores de umidade, fibra bruta, cinzas, proteínas, lipídios, seguindo as indicações da AOCS (2005), sendo os resultados expressos em porcentagem. As análises foram realizadas em triplicatas. O teor de carboidratos foi determinado pela diferença do somatório dos demais constituintes em relação a 100, conforme a equação a seguir (1):

$$\text{Carboidratos\%} = 100 - [\text{umidade \%} + \text{proteína \%} + \text{gordura \%} + \text{fibras \%} + \text{cinzas \%}]$$

(1)

### 2.2.4 Poder de inchamento e solubilidade

O poder de inchamento e a solubilidade dos amidos foram determinados na temperatura de 60 a 90 °C, conforme método descrito por Leach et al. (1959), expressos em porcentagem.

### 2.2.5 Capacidade de absorção de água e óleo

Para a determinação da capacidade de absorção de água, em tubos Falcon de 15 mL foram pesados 0,2 g de amostra, adicionados 5 mL de água destilada e realizada a homogeneização em vórtex durante 1 minuto. A mistura permaneceu em repouso por 30 minutos à temperatura ambiente (22 – 25 °C) e na sequência foi centrifugada por 15

minutos à 1200 g. O sobrenadante foi retirado e pesado o conjunto tubo de Falcon e amostra.

Já na determinação da capacidade de absorção do óleo foram usados tubos Falcon de 15 mL em que se pesou 0,2 g de amostra finamente moída, adicionados 3 g de óleo de abacate e se procedeu a homogeneização em vórtex durante 1 minuto. A mistura permaneceu em repouso por 30 minutos à temperatura ambiente (22 – 25 °C) e após foi centrifugada (K14-4000, Kasvi, Brasil) por 20 minutos à 1200 g. O sobrenadante decantou e foi drenado por 20 minutos em um ângulo de 45°. O sedimento no tubo da centrífuga, após separação do sobrenadante, foi pesado em balança analítica. Os resultados foram expressos em porcentagem.

### **2.2.6 Elaboração dos bolos sem glúten**

Foram elaboradas quatro formulações de bolo sem glúten, sendo uma delas a formulação padrão, contendo amido de arroz nativo e óleo de soja (N+OS), formulação contendo amido de arroz nativo e óleo de abacate (N+OA), bolo contendo amido de arroz modificado complexado com óleo de abacate por TTBU e adicionado de óleo de soja como ingrediente na formulação (M+OS) e bolo contendo amido de arroz modificado complexado com óleo de abacate por TTBU e adicionado de óleo de abacate em sua formulação (M+OA). Os ingredientes utilizados foram 100 g (27%) de amido (nativo ou modificado), 140 mL (36,2%) de leite integral, 30 g (8%) de óleo de soja ou de abacate, 70 g (18,6%) de açúcar, 30 g (8%) de ovos brancos, sendo 15 g (4%) de gema e 15 g (4%) de clara, 2 g (0,5%) de goma xantana, 0,4 mL (0,1%) de essência de baunilha e 6 g (1,6%) de fermento químico.

Os bolos foram preparados acrescentando, inicialmente, os ingredientes em um *bowl*: a gema, o açúcar e o óleo foram misturados, utilizando uma batedeira (Phillips Wallita) durante três minutos na velocidade três do equipamento. Após, foram incorporados o leite integral e a essência de baunilha e misturados manualmente. Na sequência foram adicionados o amido de arroz e a goma xantana, sendo homogeneizados na batedeira, durante um minuto na velocidade dois do equipamento, após foram incorporados cuidadosamente à mistura as claras em neve e o fermento em pó. A mistura foi colocada em uma forma untada com gordura e levada ao forno por 30 minutos a 180 °C. Após esfriar os bolos foram armazenados em sacos herméticos de PVC flexível do tipo *zip loc*, mantidos à temperatura ambiente até o momento das análises.

## **2.3 Avaliações dos bolos sem glúten**

### **2.3.1 Composição centesimal**

Foram determinados os teores de umidade, fibra bruta, cinzas, proteínas, lipídios, seguindo as indicações da AOCS (2005), conforme descrito no item 2.2.3.

### **2.3.2 Análises físicas**

#### **2.3.3 Alveolação**

Para verificar a estrutura do miolo das formulações, as amostras assadas foram divididas verticalmente ao meio. As imagens das fatias foram capturadas em scanner de mesa (Epson, L455) e analisadas no software imageJ versão 1.51r (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA), o qual realiza a contagem dos poros presentes na massa. As imagens foram convertidas para escala de cinza (bits) e cortadas no maior retângulo possível (5,6 cm x 4,0 cm). O pixel da imagem foi convertido em centímetro usando a escala na imagem. Os resultados foram expressos em  $\text{cm}^2$  (TURABI, GULUM e SAHIN, 2010).

#### **2.3.4 Textura**

A textura do miolo foi determinada através do analisador de textura (TA.XT plus) utilizando método padrão da AACC 74-09 (2000), com um probe cilíndrico de 20 mm de diâmetro. Foram calculados a firmeza (N), adesividade (N s), elasticidade, coesividade, mastigabilidade (N) e resistência pelo gráfico TPA. Para a análise foram utilizadas cinco fatias centrais de 25 mm de espessura.

#### **2.3.5 Volume específico**

O volume específico do produto final foi determinado segundo método de deslocamento de sementes de painço (HSIEH et al., 1991), expresso em  $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ .

#### **2.3.6 Cor**

Para determinação de cor da crosta e do miolo foi utilizado um colorímetro CR 400 (Konica Minolta Sensing Brasil), através do sistema de leitura CIELAB (*Commission Internationale de Eclairage*), representado pelos seguintes parâmetros: coordenada  $L^*$  expressa o grau de luminosidade da cor medida ( $L^* = 100 = \text{branco}$ ;  $L^* = 0 = \text{preto}$ ), a coordenada  $a^*$  expressa o grau de variação entre o vermelho (+60) e o verde (-60), a coordenada  $b^*$  expressa o grau de variação entre o azul (-60) e o amarelo (+60), o croma

expressa a saturação ou intensidade da cor, e o Hue indica a cor observável e é definido como iniciando no eixo +a\*, em graus, em que 0° é +a\* (vermelho), 90° é +b\* (amarelo), 180° é -a\* (verde), e 270° é -b\* (azul) (HUNTERLAB, 1996; GAYA., 2006)

## **2.4 Avaliações nutricionais**

### **2.4.1 Digestibilidade *in vitro***

A digestão *in vitro* foi simulada de acordo com método proposto por Dartois et al. (2010), utilizando modelo simulado de digestão de duas fases, em condições gástricas e do intestino delgado. Os resultados foram expressos como percentagem de hidrólise do amido.

Foi utilizado um fator de conversão (a partir do amido em glicose) de 0,9 o qual é geralmente calculado a partir do peso molecular do monômero de amido/peso molecular de glicose ( $162/180 = 0,9$ ) (BORDOLOI; KAUR; SINGH, 2012; DARTOIS et al., 2010; GOÑI; GARCIA-ALONSO; SAURA-CALIXTO, 1997).

### **2.4.2 Índice glicêmico estimado (IGe)**

O índice glicêmico estimado foi calculado de acordo com metodologia proposta por Goñi et al. (1997), utilizando a cinética da hidrólise do amido, a curva de liberação da glicose obtida durante a análise de digestibilidade *in vitro* e o índice de hidrólise.

### **2.4.3 Análises químicas**

#### **2.4.4 Compostos fenólicos**

Para extração dos compostos fenólicos foi seguida a metodologia indicada por Jansen-Alves et al. (2019).

Para a determinação dos compostos fenólicos foi utilizado o método de Folin-Ciocalteu (BRAND-WILLIAMS et al., 1995), com leitura em 725 nm (JENWAY 6705 UV/Vis, Espanha). A quantificação foi realizada a partir de uma curva padrão de ácido gálico nas concentrações de 0 a 200 mg. L<sup>-1</sup> ( $y = 0,0047x - 0,0146$ ,  $R^2 = 0,9987$ ). Os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico por grama de amostra (mg EAG g<sup>-1</sup>) em peso úmido.

#### **2.4.5 Atividade Antioxidante ABTS**

A capacidade antioxidante foi avaliada pela captura dos radicais 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolona-6-ácido sulfônico) (ABTS), segundo o método descrito

por Rufino et al. (2007), com leitura em 734 nm (JENWAY 6705 UV/Vis, Espanha). A quantificação foi baseada em uma curva de calibração obtida usando Trolox ( $y = -0,0003x + 0,6607$ ,  $R^2 = 0,9982$ ), e os resultados foram expressos como  $\mu\text{mol}$  equivalentes de Trolox (TE) por g de amostra em peso úmido.

## 2.5 Análise sensorial

A avaliação contou com a participação de 54 julgadores não treinados, de ambos os sexos, pertencentes à comunidade acadêmica da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Foram julgados os atributos aparência, cor, sabor e textura por meio de uma escala hedônica de 9 pontos, em que o valor 1 correspondia a descrição “desgostei extremamente” e o valor 9 a “gostei extremamente” (GULARTE, 2009).

Cada julgador recebeu uma ficha de avaliação e o termo de consentimento livre e esclarecido, juntamente das amostras apresentadas em recipientes de cor branca, codificados com três dígitos aleatórios. Foi solicitado também aos julgadores que expressassem sua preferência pelas amostras, ordenando-as da mais preferida (1) a menos preferida (4).

As análises foram realizadas com a aprovação do Comitê de Ética da FAMED/UFPel, Parecer Consubstanciado CEP Nº 4.207.973.

## 2.7 Análises microbiológicas

Foram realizadas as análises de bolores e leveduras, *Salmonella* spp. e *Escherichia coli*, segundo o que é preconizado para pães, bolos, bolachas, biscoitos e outros produtos de panificação, estáveis à temperatura ambiente (BRASIL, 2022), seguindo a metodologia descrita por Downes e Ito (2001).

## 2.8 Avaliação da estabilidade

A estabilidade dos produtos foi determinada nos tempos 1, 3, 5 e 7 dias após o processamento, por análise sensorial dos atributos: aparência, cor e textura, conforme descrito nos itens 2.3.4 e 2.3.6; e pelas análises microbiológicas descritas no item 2.7. Ainda, avaliou-se o efeito de embalagens diversificadas durante o tempo de armazenamento, sendo elas: somente *zip lock* (PVC flexível); papel alumínio e *zip lock*; filme de PVC flexível e *zip lock*. Nas embalagens combinadas, após o forneamento, o bolo foi coberto por três camadas de filme de PVC flexível e colocado em *zip lock*, já o papel alumínio foi colocado em duas camadas e, em seguida, o bolo foi inserido em *zip lock*.

Determinou-se ainda, a perda de massa dos bolos, por meio de pesagem, relacionando-se a diferença entre a massa inicial do bolo e a massa obtida ao final de cada tempo de armazenamento (AKHTAR; ABASSI; HUSSAIN, 2010), de acordo com a equação 2. Os resultados foram expressos em porcentagem de perda de massa.

$$\text{Perda de massa (\%)} = \left[ \frac{(\text{massa inicial} - \text{massa final})}{(\text{massa inicial})} \right] \times 100 \quad (2)$$

## 2.8 Análise estatística

Todas as análises foram realizadas, no mínimo, em triplicata e os resultados expressos em médias e desvio padrão, sendo a comparação entre as amostras realizada por meio de análise de variância, complementada por teste T ou Tukey, ao nível de 5% de significância, com auxílio do programa *Statistica 7*. O efeito do armazenamento sobre a estabilidade dos produtos foi avaliado por regressão polinomial, através do programa gráfico (Excel), considerando como significativo o valor do coeficiente de determinação mínimo de 0,9 ( $r^2 \geq 0,9$ ).

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Poder de inchamento e solubilidade do amido

A Tabela 1 mostra os resultados encontrados na solubilidade e poder de inchamento do amido de arroz nativo e amido de arroz modificado com óleo de abacate. Esses parâmetros refletem a capacidade de interação dos componentes amorfos e cadeias cristalinas do amido com água (WANG et al., 2020). Observa-se que houve aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) da solubilidade e do poder de inchamento conforme houve o aumento da temperatura, sendo que o amido nativo mostrou maiores valores de solubilidade e poder de inchamento que o modificado em qualquer das temperaturas avaliadas. Provavelmente, a solubilidade do amido modificado foi reduzida em função da presença de óleo de abacate complexado. Considerando que o óleo é apolar, a capacidade de solvatação das moléculas de água foi reduzida neste amido. Outro aspecto importante, que deve ter exercido influência, são as alterações que podem ocorrer na estrutura do amido durante o tratamento térmico de baixa umidade, em especial, a gelatinização parcial (já que o processo de modificação utilizou 30% de água), que tornou

o amido modificado menos disponível para interações com a água, reduzindo a solubilidade.

**Tabela 1.** Poder de inchamento e solubilidade do amido de arroz nativo e amido de arroz modificado.

Amostra	Solubilidade (%)			
	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
Nativo	1,490 ± 0,12 d	3,491 ± 0,16 c*	5,299 ± 0,06 b*	7,076 ± 0,19 a*
Modificado	1,358 ± 0,15 c	1,491 ± 0,13 c	3,059 ± 0,33 b	4,811 ± 0,80 a

Amostra	Poder de inchamento (%)			
	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
Nativo	6,222 ± 0,58 d*	8,893 ± 0,46 c*	11,645 ± 0,55 b*	14,618 ± 0,06 a*
Modificado	3,296 ± 0,71 c	6,322 ± 0,85 b	6,955 ± 0,38 b	8,673 ± 0,46 a

Médias acompanhados por \* na mesma coluna diferem estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste T.

Médias acompanhadas por letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

O poder de inchamento pode estar relacionado com a estrutura do amido (WANG et al., 2020), sendo influenciado pela temperatura de gelatinização (SIMI; ABRAHAM, 2008). A gelatinização do amido em maiores temperaturas impacta diretamente nos quesitos de textura, volume e aceitabilidade do produto. O tratamento térmico empregado reduz o lixiviamento da amilose, o que por sua vez aumenta a estabilidade do amido quando submetido ao aquecimento (WANG et al., 2020). Considerando que o lipídio adicionado (óleo de abacate) forma complexo com a amilose, esta ficaria menos disponível, portanto, além dos aspectos considerados acima em relação a solubilidade, este efeito também justifica o menor poder de inchamento do amido modificado em relação ao nativo.

### 3.2 Capacidade de absorção de água e de óleo do amido

Em relação a capacidade de absorção de água (CAA) observou-se que houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os amidos, tendo o amido nativo apresentado maior valor. Novamente, a adição de óleo de abacate no processo de modificação do amido, para formação de complexo de inclusão, deve ter reduzido a capacidade de absorção de

água, pela diferença de polaridade dos componentes, como também pela diferente composição química entre os amidos. O amido modificado apresenta maior porcentagem de lipídio, portanto, a proporção dos demais componentes é proporcionalmente menor, o que pode ter interferido nos resultados. A amilose pode intervir na formação da estrutura de gel do amido através das ligações de hidrogênio, o que ocasiona aumento da interação e resistência estrutural entre as cadeias poliméricas (ZHANG et al., 2020). O complexo formado entre o óleo de abacate e a amilose, reduz a disponibilidade desta molécula para absorção de água, esse efeito, como mencionado anteriormente, também justifica a menor capacidade de absorção de água do amido modificado. Quanto à capacidade de absorção de óleo (CAO), não houve diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ) entre os dois amidos, embora o amido modificado já contivesse 8% de óleo de abacate, conforme mencionado anteriormente, este fato não influenciou. De modo geral, os produtos com base em arroz, como farinha de arroz e amido de arroz, tendem a ter baixa absorção de óleo, principalmente quando comparado a outras matérias-primas como a farinha de trigo e amido de trigo, possibilitando maior facilidade a cocção por outros métodos, como as frituras (SHIH et al., 2001).

**Tabela 2.** Capacidade de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (CAO) no amido de arroz nativo e amido de arroz modificado.

Amostra	CAA	CAO
Nativo	325,988 ± 0,14 *	265,812 ± 9,61
Modificado	228,097 ± 5,15	222,913 ± 10,88

CAA= capacidade de absorção de água; CAO= capacidade de absorção de óleo. Médias acompanhadas por \* na mesma coluna diferem estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste T.

### 3.3 Composição centesimal dos bolos isentos de glúten

Para considerar um alimento nutricionalmente adequado deve-se observar as recomendações impostas na rotulagem nutricional atualizada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2022). As análises de composição centesimal das quatro formulações de bolo isento de glúten, bem como do amido nativo, estão expressas na Tabela 3 de acordo com a quantidade de 35g do produto, equivalente a uma unidade. O cálculo energético foi realizado através da regra 4-9-4, utilizada nas rotulagens de alimentos (SANTOS, 2010).

**Tabela 3.** Composição centesimal das quatro formulações de bolo isento de glúten (35g) em base seca e do amido modificado.

	N+OS	N+OA	M+OS	M+OA	Amido modificado*
Energia (kcal)	341,065±2,57 ab	353,188±6,11 a	370,0986± 5,44 b	372,865± 6,47 b	408,963 ± 7,225
Carboidrato (%)	67,251±0,63 ab	68,986 ± 1,50 a	64,042 ± 1,36 b	64,714 ± 1,64 b	80,452 ± 1,099
Açúcar adicionado (%)	24,042 ±2,60 a	21,241 ±0,11 a	18,887±1,85 a	20,457±0,37 a	Nd
Proteínas (%)	0,023 ± 0,00 b	0,024 ± 0,00 b	0,038 ± 0,00 a	0,024 ± 0,00 b	0,794 ± 0,109
Lipídios (%)	7,997±0,53	8,572 ± 1,15	12,642±1,56	12,657±0,95	9,331 ± 1,465
Fibras (%)	0,001 ± 0,00 a	0,001 ± 0,00 a	0,001 ± 0,00 a	0,002 ± 0,00 a	Nd
Umidade (%)	32,624 ± 0,60 ab	30,880 ± 1,00 b	35,761 ± 1,36 a	35,098 ± 1,64 a	9,185 ± 0,030
Cinzas (%)	0,014 ± 0,00a	0,015 ± 0,00 a	0,013 ± 0,00 a	0,017 ± 0,01 a	0,237 ± 0,119

N+OS= bolo elaborado com amido nativo e óleo de soja; N+OA= bolo elaborado com amido nativo e óleo de abacate; M+OS= bolo elaborado com amido modificado e óleo de soja; M+OA= bolo elaborado com amido modificado e óleo de abacate. Médias acompanhadas por letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey. nd= não detectado. \*Valores obtidos através de Frasson, 2022.

Os valores energéticos das formulações de bolo ficaram próximos, entretanto, os bolos feitos com amido modificado apresentaram menores valores em relação a carboidratos, e maior em relação aos lipídios, fato que além de ter influência no valor energético total, modifica a composição do produto. Contudo, apenas o bolo com amido nativo e óleo de abacate mostrou-se mais calórico que os com amido modificado. O amido nativo apresentou valor energético de 353,188±6,05 kcal, enquanto que o modificado mostrou maior valor, influenciado pelo maior conteúdo lipídico.

Entre os demais componentes avaliados na composição centesimal dos bolos, observou-se que houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) em relação ao conteúdo de lipídios, proteínas e umidade, neste caso, houve tendência dos bolos elaborados com o amido nativo apresentarem menores valores. Tal fato se justifica pela inserção de óleo de abacate como complexo de inclusão no amido modificado, o que ampliou o percentual lipídico do amido e conseqüentemente, dos bolos que o contém. O amido nativo apresentou conteúdo lipídico de 0,18±0,05% (FRASSON, 2022) e o modificado 9,33±1,465%. Por outro lado, percentualmente, a fração de carboidratos foi reduzida quando se empregou o amido modificado ( $p \leq 0,05$ ), considerando que o amido nativo

mostrou  $89,49 \pm 0,05\%$  (FRASSON, 2022) e o modificado  $80,452 \pm 1,099\%$  de carboidratos. Ambos os componentes influenciam no valor energético, e o balanço entre eles deve ter colaborado para proximidade dos valores encontrados para este parâmetro. Ainda, o açúcar adicionado, interfere nesses resultados, no entanto, a quantidade deste ingrediente foi igual em todas as formulações. De acordo com a nova rotulagem nutricional, os alimentos que contenham mais de 15 g de açúcar adicionado em 100 g de produto devem conter alerta de quantidade em suas embalagens (BRASIL, 2022), assim, para comercialização, todas as formulações deveriam conter o alerta de quantidade de açúcar em sua embalagem.

Ainda que para a modificação do amido, se tenha empregado 30% de água, a secagem do amido modificado aproximou sua umidade a do nativo (amido nativo =  $9,07 \pm 0,19\%$  - FRASSON, 2022). Em relação aos bolos, verificou-se que aquele com amido nativo e óleo de abacate apresentou menor umidade ( $p \leq 0,05$ ) que os elaborados com amido modificado.

Em relação às proteínas, foi encontrado valor significativamente maior para o bolo preparado com amido modificado e óleo de soja, contudo, todos os valores foram muito baixos. Cabe destacar que no processo de extração do amido se objetiva baixos teores de outros componentes, objetivando elevar a pureza do amido. Ainda que tenha ocorrido adição de ingredientes proteicos, como ovos e leite, as quantidades usadas foram pequenas. De acordo com Xu et al. (2020), os bolos sem glúten têm diversas características em comum, tanto sensoriais como nutricionais, e a baixa porcentagem de proteína faz parte desses fatores.

Na Tabela 3 pode-se observar que o amido modificado apresentou teor de lipídeos, proteínas e cinzas muito baixos e de fibras, indetectáveis. Para o amido nativo, estes componentes também estiveram em baixos teores, sendo para proteínas  $1,25 \pm 0,04\%$ , cinzas  $0,012 \pm 0,01$  e fibras também não detectadas (FRASSON, 2022). Nesse contexto, quando se deseja ampliar o conteúdo de proteínas, algumas possibilidades têm sido avaliadas, sendo as leguminosas e a proteína de soja as mais utilizadas comercialmente (GULARTE et al., 2012). A proteína do soro do leite, ou *whey protein*, também vem sendo aplicada e descrita em alguns, principalmente pela sua funcionalidade em bolos sem glúten (DÍAZ-RAMÍREZ et al., 2016; SAHAGÚN et al., 2018).

Com relação a umidade, as amostras apresentaram valores acima daqueles preconizados pela RDC n° 263 de 2005, a qual define um máximo de 15% de umidade em 100 g em produtos de panificação (ANVISA, 2005), entretanto, achados semelhantes

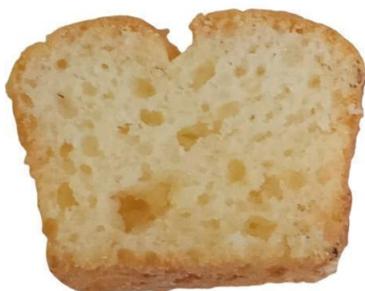
são encontrados na literatura, o estudo de Gomes et al. (2022), também apresentou porcentagem de umidade superior a 30% em suas formulações de bolo sem glúten.

### 3.4 Análises físicas

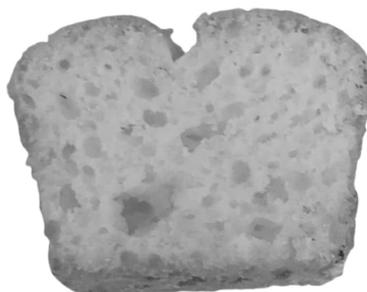
#### 3.4.1 Alveolação

Segundo Tasiguano et al. (2019), a estrutura dos poros do miolo é fundamentada principalmente pelo número e tamanho dos alvéolos, tornando-se desejável a presença de grande quantidade de alvéolos finos e bem distribuídos por toda a fatia de bolo, para que o mesmo seja macio. A discrepante presença de poros nas formulações foi confirmada pelo software ImageJ (Figura 1). As fatias analisadas apresentaram pouca quantidade de alvéolos, além de apresentarem alguns alvéolos maiores. Na formulação do bolo elaborado com amido nativo e óleo de soja foram detectados 57 poros; no bolo com amido nativo e óleo de abacate contabilizaram-se 93 poros; no bolo com amido modificado e óleo de soja foram registrados 78 poros e o bolo com amido modificado e óleo de abacate, 135 poros. Claramente, se verificou que os bolos elaborados com amido modificados mostraram maior porosidade ou alveolação, em relação aos similares com amido nativo. Também se percebe que os bolos contendo óleo de abacate, têm melhor estrutura de poros, com maior quantidade de alvéolos, de menor tamanho e maior uniformidade. O processo de modificação do amido provavelmente produziu alterações na estrutura granular que proporcionaram melhoria na alveolação dos bolos. Por outro lado, o óleo de abacate, por não passar por processo de refino, contém uma diversidade de bioativos com atividade benéfica ao organismo humano e à estabilidade do óleo, assim, também pode conter outros compostos minoritários, como monoglicérides ou fosfolipídeos, que mesmo em baixas concentrações, podem auxiliar na formação da emulsão com os carboidratos, pelo caráter anfifílico (VELDERRAIN-RODRÍGUEZ et al., 2021), resultando em ganhos para a alveolação dos bolos.

N+OS



N+OS



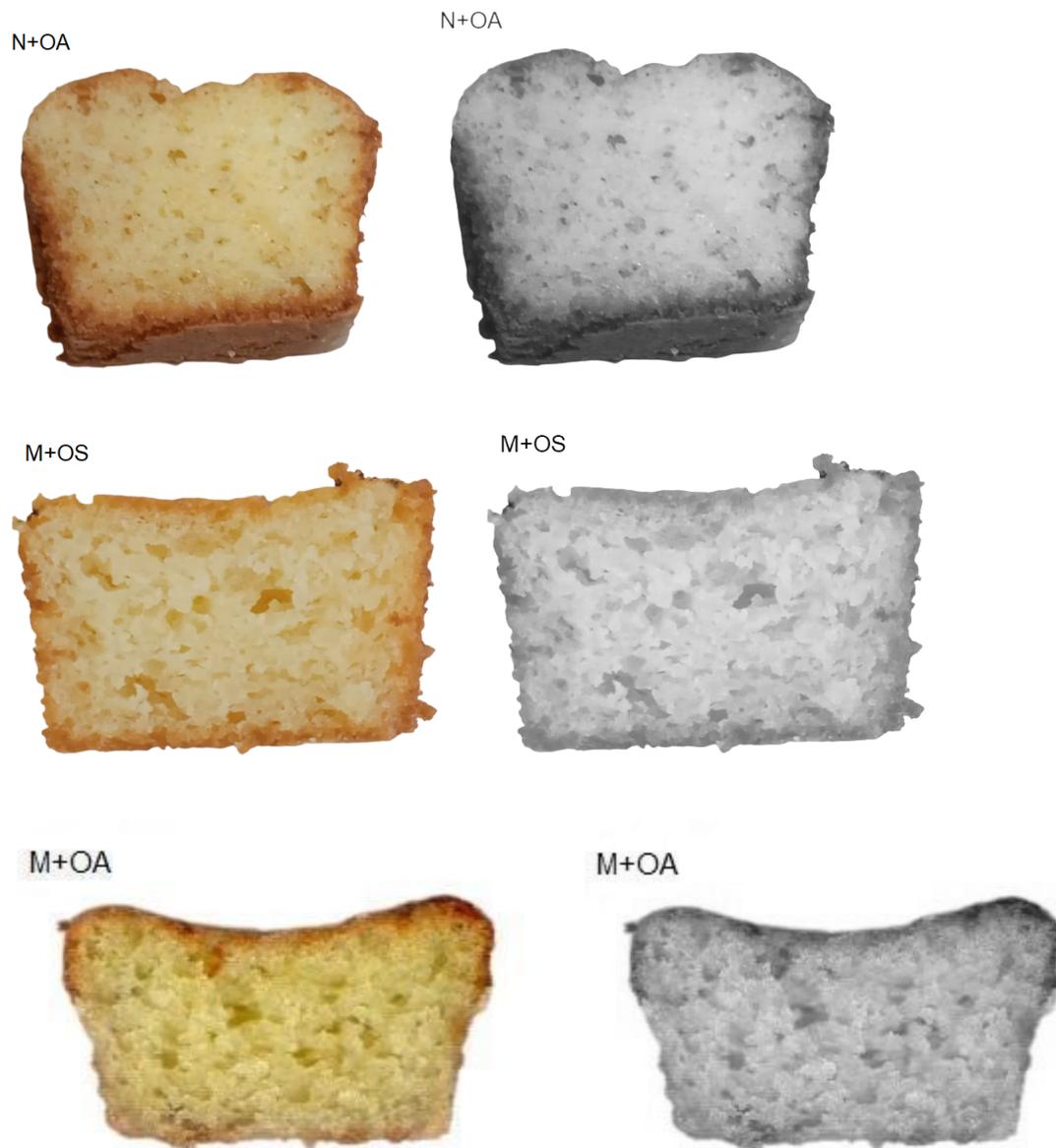


Figura 1- Característica de alveolação dos bolos elaborados com amido de arroz, através das imagens obtidas pelo programa Imagej.

N+OS = bolo elaborado com amido nativo e óleo de soja; N+OA = bolo elaborado com amido nativo e óleo de abacate; M+OS = bolo elaborado com amido modificado e óleo de soja; M+OA = bolo elaborado com amido modificado e óleo de abacate.

### 3.4.2 Textura e volume

A qualidade de um bolo depende de sua textura, a qual está relacionada com o modo em que a massa é incorporada e misturada durante a preparação (XU et al., 2020). As análises de textura, foram realizadas no mesmo dia de produção dos bolos isentos de glúten (Tabela 4), de acordo com os achados, nenhuma das amostras apresentou resposta para o parâmetro adesividade, esta propriedade relaciona-se a capacidade de aderir a superfícies, evidenciando a pegajosidade do bolo (KIM et al., 2017).

Para os demais parâmetros de textura (Tabela 4), no geral, observaram-se diferenças entre as amostras, tendo o bolo preparado com amido de arroz nativo e óleo de soja, no global, apresentando valores significativamente maiores ( $p \leq 0,05$ ). Por outro lado, o bolo elaborado com amido de arroz modificado e óleo de abacate, mostrou valores significativamente menores ( $p \leq 0,05$ ) para diversos parâmetros de textura. Novamente, percebe-se o efeito do processo de modificação do amido e do óleo de abacate, corroborando os dados da alveolação, que se relacionam com a maciez do bolo.

Richardson et al. (2021) reportaram que o açúcar adicionado tende a diminuir a dureza de bolos. Já Sahagún et al. (2018), mencionaram que a adição de clara de ovo resulta em maior dureza em relação aos bolos sem este ingrediente, contudo, o estudo não especifica o método de inserção da clara de ovo na formulação. Nos bolos deste estudo, a clara foi incorporada em neve.

A elasticidade refere-se à propriedade da amostra de voltar ao seu estado original. Já a coesividade é a caracterização da força molecular após a compressão (FERNG et al, 2016). A gomosidade é definida como o produto da dureza e da coesão juntas. Enquanto a mastigabilidade reflete a energia necessária para dissolver um alimento na boca (LUNA et al., 2022). Evidencia-se que o amido de arroz modificado e o óleo de abacate favoreceram as características de textura do bolo isento de glúten, que é um fator relevante para a aceitação do produto.

**Tabela 4.** Parâmetros de textura e volume dos bolos isentos de glúten, elaborados com amido do arroz.

Formulação	Dureza (g)	Elasticidade	Coabilidade	Gomosidade (g)	Mastigabilidade (N.ms <sup>-1</sup> )	Resiliência	Volume (cm <sup>3</sup> )
N+OS	205,744 ± 12,88 a	0,958 ± 0,01 a	0,793 ± 0,04 a	171,287 ± 10,30 a	164,191 ± 10,96 a	0,537 ± 0,03 a	1,713 ± 0,02 a
N+AO	185,751 ± 14,86 ab	0,922 ± 0,02 ab	0,639 ± 0,02 b	112,981 ± 17,05 b	104,516 ± 17,95 b	0,408 ± 0,03 b	1,653 ± 0,32 a
M+OS	195,158 ± 10,80 ab	0,887 ± 0,03 b	0,515 ± 0,04 c	99,023 ± 5,40 b	88,406 ± 6,47 bc	0,281 ± 0,04 c	1,263 ± 0,02 b
M+AO	173,747 ± 3,99 b	0,820 ± 0,06 c	0,407 ± 0,05 d	71,763 ± 14,74 c	65,314 ± 9,21 c	0,238 ± 0,03 c	1,310 ± 0,03 b

N+OS=bolo elaborado com amido nativo e óleo de soja; N+OA= bolo elaborado com amido nativo e óleo de abacate; M+OS= bolo elaborado com amido modificado e óleo de soja; M+OA= bolo elaborado com amido modificado e óleo de abacate. Médias acompanhadas por letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Em relação ao volume, observou-se que foi significativamente maior ( $p \leq 0,05$ ) nos bolos com amido de arroz nativo. Em relação a esse parâmetro, quando se trata de um bolo, depende da incorporação de ar durante a mistura e retenção durante o cozimento, sendo igualmente influenciado pela viscosidade da massa e distribuição de bolhas de ar proporcionadas pelo equipamento de mistura (STAUFFER, 1990). Neste sentido, é provável que a maior aeração dos bolos com amido de arroz nativo, tenha influenciado, aumentando o volume, contudo, com base nos resultados da alveolação, a distribuição não foi uniforme, ou seja, nestes bolos, formaram-se bolhas de ar maiores, que apesar de aumentarem o volume, não contribuíram com a maciez do produto. Outro fator primordial para o volume de um bolo é a temperatura de gelatinização do amido, quanto maior a temperatura, melhor a expansão da massa (GULARTE et al., 2012). A temperatura de gelatinização do amido é dependente da densidade volumétrica apresentada nas ligações de hidrogênio na estrutura do amido (VAN DER SMAN et al., 2019), assim uma menor temperatura de gelatinização necessita de uma menor energia térmica para formação do gel (GORONOVA et al., 2019).

Segundo Marston et al (2016), produtos elaborados com farinhas sem glúten mostraram baixos valores relacionados ao volume, quando comparados aos com a farinha de trigo. Nas amostras de bolo, não se observou influência em relação ao tipo de óleo inserido na formulação.

### 3.4.4 Cor

Em produtos forneados, como os bolos, a cor é uma característica muito importante ao produto final e para o consumidor (ANDRADE et. al., 2015). A cor da crosta entre os bolos varia devido às altas temperaturas em que as formulações atingem dentro do forno, como também devido a reação de Maillard (PURLIS, 2010), já a cor do miolo nos produtos forneados é influenciada em sua maior parte pelos ingredientes os quais compõem o produto do que as reações químicas (DE LA HERA et al., 2013). Cabe considerar que o miolo não está diretamente exposto às altas temperaturas de forno quando comparado a crosta.

Os valores dos parâmetros de cor encontrados na crosta e no miolo das quatro formulações de bolo isento de glúten são apresentados na Tabela 6.

Avaliando-se o parâmetro de luminosidade (L) da crosta dos bolos, verificou-se que as formulações contendo óleo de soja diferiram significativamente ( $p \leq 0,05$ ), sendo que aquela preparada com o amido nativo mostrou-se mais clara do que a com amido modificado. O aumento da luminosidade (ou tendência ao branco) também foi encontrado por Bajaj et al. (2019), ao comparar a crosta de bolos produzidos com amido de arroz nativo em relação a amido de arroz gelatinizado.

Quanto ao parâmetro  $a^*$ , que indica a variação entre vermelho (+60) e verde (-60), observou-se que as crostas dos bolos em que houve adição de óleo de soja mostraram maior tendência ao vermelho ( $p \leq 0,05$ ), contudo, todos os valores foram baixos. Já para o parâmetro  $b^*$ , associado às cores o azul (-60) e amarelo (+60), evidenciou o domínio do amarelo, sendo mais pronunciado na formulação com amido de arroz modificado e óleo de abacate e significativamente menor na contendo amido de arroz nativo e óleo de abacate. Assim, parece que há uma maior influência na cor da crosta pelo uso de amido modificado. Fato corroborado pela avaliação do hue (cor propriamente dita) e do croma (saturação da cor), em que ambas as formulações com óleo de abacate diferiram significativamente, mostrando cor amarela-alaranjada mais intensa aquela elaborada com amido modificado.

**Tabela 5.** Parâmetros de cor da crosta e do miolo das quatro formulações de bolo sem glúten.

Cor da crosta					
Formulação	L*	a*	b*	Hue	Croma
N+OS	59,042 ± 0,98 a	10,352 ± 0,96 a	35,504 ± 0,86 b	73,079 ± 2,03 b	37,005 ± 0,96 b
N+OA	57,193 ± 0,79 ab	9,901 ± 0,89 ab	33,253 ± 0,97 d	73,798 ± 3,00 b	34,758 ± 0,88 c
M+OS	54,831 ± 0,95 b	10,331 ± 0,65 a	34,945 ± 0,90 c	73,436 ± 1,960 b	36,461 ± 0,70 b
M+OA	56,106 ± 0,99 ab	8,783 ± 0,93 b	37,767 ± 0,80 a	76,986 ± 1,28 a	38,839 ± 0,52 a

Cor do Miolo					
Formulação	L*	a*	b*	Hue	Croma
N+OS	69,625 ± 0,95 a	-3,137 ± 0,39 a	18,577 ± 0,70 d	-79,997 ± 1,28 c	18,851 ± 0,64 c
N+OA	68,179 ± 0,92 b	-4,633 ± 0,23 b	23,957 ± 0,61 c	-78,989 ± 0,98 b	24,405 ± 0,60 b
M+OS	67,731 ± 0,93 b	-4,440 ± 0,78 b	24,033 ± 0,97 b	-80,302 ± 1,32 d	25,126 ± 0,30 b
M+OA	69,326 ± 0,90 a	-6,640 ± 0,27 c	27,560 ± 0,42 a	-76,289 ± 0,40 a	28,352 ± 0,38 a

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate. Médias acompanhadas por letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Devido a cocção em temperaturas elevadas, a formação da coloração na crosta dos bolos, muito claras ou muito escuras, são relacionadas a má qualidade do produto pelos consumidores (ANDRADE et al., 2015). Alguns estudos relatam que, quando empregada a farinha de arroz nos bolos sem glúten, há diminuição da cor vermelha ( $a^*$ ) (BIAN; CHUNG, 2016). Achados semelhantes foram encontrados no estudo de Kim et al. (2017), o qual analisou a cor da crosta de três formulações distintas de bolos sem glúten, a primeira utilizando farinha de arroz branco, a segunda farinha de arroz integral e a terceira com modificação em umidade e temperatura na cocção do bolo, com farinha de arroz branco, em todas as formulações houve redução da cor vermelha.

Considerando que os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ , tendem a ter alterações devido a reação de Maillard e caramelização (FATHI et al., 2016), e que estes processos são mais intensos na crosta, como seria de esperar, as quatro formulações de bolo sem glúten apresentaram maiores valores ( $p \leq 0,05$ ) em sua crosta quando comparada ao miolo. Também a luminosidade, com valores mais altos, indicou que os miolos são mais claros.

De acordo com De la Hera et al. (2013), o miolo de produtos forneados não atinge uma temperatura de 100 °C, o que justificaria a maior luminosidade em relação a crosta (branco = 100, preto = 0).

Comparando o miolo das formulações de bolo, em relação a luminosidade, observou-se a mesma tendência de comportamento da crosta, ou seja, influência do tipo de amido, sendo o miolo do bolo com amido modificado e óleo de soja mais claro ( $p \leq 0,05$ ).

Quanto aos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ , verificaram-se diferenças significativas do miolo do bolo com amido modificado e óleo de abacate em relação aos demais, evidenciando maior tendência para o verde ( $-a^*$ ) e o amarelo ( $b^*$ ) no miolo do bolo com amido modificado e óleo de abacate, o que pode ser devido a influência da cor esverdeada deste óleo, que em certo grau, também pode afetar a coloração do amido modificado, já que há 8% de óleo de abacate na forma de complexo neste amido. Por outro lado, o miolo do bolo preparado com amido nativo e óleo de soja foi o que mostrou os valores mais baixos de verde ( $-a^*$ ) e amarelo ( $b^*$ ), para as coordenadas de cor. Esses dados refletem nos valores de hue e croma, indicando a cor amarelada para o miolo do bolo com amido modificado e óleo de abacate, com maior intensidade.

### **3.5 Digestibilidade *in vitro* e índice glicêmico estimado**

A digestibilidade *in vitro* simula a digestão em duas fases, gástrica e intestinal, sendo essencial, pois a partir dela acontece o fornecimento de nutrientes, além de que a estrutura alimentar na digestão é capaz de modular a resposta glicêmica do alimento (TIWARI et al., 2022). A primeira fase de digestão ocorre na região gástrica, a digestão dos lipídeos presentes nos bolos, como o óleo de abacate e o óleo de soja, deve iniciar através da lipase gástrica (GUO et al., 2017), igualmente ocorre com as proteínas, que também têm o início da digestão na fase gástrica (VAN DER SMAN et al., 2020). Nesta fase, a enzima responsável pelo início da quebra dos alimentos é a pepsina, que se ativa em condições ácidas, mas é inativada em condições básicas. Grande quantidade dos peptídeos, formados a partir da quebra das proteínas, são absorvidos no intestino, entretanto o estômago também é capaz de iniciar, além da digestão, a absorção (LI;JIN., 2023). Os carboidratos têm sua digestão iniciada através da amilase salivar, na boca, porém a digestão, em sua grande parte, se dá na fase intestinal. O alto teor de glicose quantificado na fase gástrica está relacionado ao açúcar adicionado nos bolos (Tabela 6). O amido não digere na fase gástrica, uma vez que não há enzimas amilases nesta etapa

da digestão. Apesar de não haver digestão do amido nesta fase, devido a digestão das proteínas e dos lipídios as moléculas de glicose que estavam aprisionadas na matriz alimentícia acabam sendo liberadas, e conseqüentemente, há liberação de glicose.

**Tabela 6.** Digestibilidade *in vitro* do amido (%) nas amostras de amido de arroz nativo (AN), amido de arroz modificado via autoclave com adição de 8% de óleo de abacate (AM) e formulações de bolos isentos de glúten (N+OS, N+OA, M+OS, M+OA) em função do tempo (min).

Amostra	G0	G15	G30	I0	I5	I10	I20	I30	I60	I90	I120
AN*	0,00±0,00 a	2,98±0,42 d	2,99±0,44 d	13,46±3,45 c	45,97±1,99 ab	52,60±3,38 ab	60,84±1,41 b	66,45±2,08 ab	81,24±2,00 ab	88,82±0,26 ab	92,49±1,31 bc
AM*	0,00±0,00 a	3,06±0,01 d	3,04±0,05 d	9,63±0,58 c	28,75±1,18 c	37,98±1,87 c	45,94±1,78 c	53,83±1,42 b	60,24±0,53 c	65,44±0,55 d	67,65±1,20 e
N+OS	0,00±0,00 a	50,26±0,22 a	51,02±0,23 a	52,46±0,59 a	53,90±1,40 a	59,44±0,07 a	73,05±0,06 a	83,51±0,01 a	88,12±0,07 a	92,93±0,34 ab	99,78±0,16 ab
N+OA	0,00±0,00 a	34,37±0,71 c	34,72±0,43 c	37,68±0,93 b	40,64±2,29 b	50,31±1,06 abc	60,44±0,30 b	69,41±4,93 ab	75,63±0,69 abc	81,54±1,26 bc	88,98±0,92 c
M+OS	0,00±0,00 a	51,95±0,86 a	53,30±0,71 a	53,39±0,68 a	53,99±0,13 a	54,29±0,15 ab	65,77±3,04 ab	75,10±0,89 ab	91,73±0,68 a	96,98±1,56 a	100,00±0,0 0 a
M+OA	0,00±0,00 a	38,86±0,47 b	39,31±0,23 b	40,40±0,13 b	41,49±0,49 b	46,59±3,70 bc	54,64±3,05 bc	63,39±8,23 ab	66,71±8,35 bc	72,32±4,91 cd	81,52±2,75 d

N+OS: bolo feito com amido nativo adicionado de óleo de soja; N+OA: bolo feito com amido nativo adicionado de óleo de abacate; M+OS: bolo feito com amido modificado com óleo de abacate adicionado de óleo de soja; M+OA: bolo feito com amido modificado com óleo de abacate adicionado de óleo de abacate. G0: fase gástrica no tempo 0 minutos; G15: fase gástrica no tempo 15 minutos; G30: fase gástrica no tempo 30 minutos; I0: fase intestinal no tempo 0 minutos; I5: fase intestinal no tempo 5 minutos; I10: fase intestinal no tempo 10 minutos; I20: fase intestinal no tempo 20 minutos; I30: fase intestinal no tempo 30 minutos; I60: fase intestinal no tempo 60 minutos; I90: fase intestinal no tempo 90 minutos; I120: fase intestinal no tempo 120 minutos; \*Resultados Dissertação Frasson (2022). Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pelo Teste de Tukey.

Na fase intestinal, nos tempos I0 a I10 há o início da digestão dos amidos, com consequente liberação de glicose. O índice glicêmico expressa a quantidade de glicose liberada durante a digestão intestinal em função do tempo, quanto mais rápida a liberação de glicose no início da digestão no intestino delgado, maior o índice glicêmico do alimento em questão (MILLER; PANG; BRAMALL, 1992). Os alimentos com alto teor de carboidratos tendem a ter alto índice glicêmico, dessa forma, alimentos com baixa digestibilidade ou até mesmo menor que a convencional, tendem a causar benefícios à saúde (SINGH; DARTOIS; KAUR, 2010), principalmente para pessoas já portadoras de doenças as quais se beneficiam em uma dieta de baixo índice glicêmico.

Observaram-se diferenças entre os bolos isentos de glúten contendo amido de arroz nativo e amido de arroz modificado com diferentes óleos, soja ou abacate, na fase inicial da digestão, os bolos adicionados de óleo de soja mostraram comportamentos semelhantes, tanto com amido nativo como com o amido modificado, nos tempos 0 ao tempo 30 da fase gástrica a digestibilidade foi maior nos bolos elaborados com óleo de soja, enquanto os bolos adicionados de óleo de abacate, mostraram alteração linear em função ao tempo nessa mesma fase. Sabe-se que, as propriedades estruturais dos amidos modificados permitem a produção de alimentos com redução da digestibilidade, ou seja, menores índices glicêmicos ao serem comparados a alimentos sem a modificação (COLUSSI et al., 2018). A variação na digestibilidade do amido de arroz pode ser atribuída com sua composição química, teor de amilose, quantidade de lipídeos e proteínas (ZHU et al., 2011). Os bolos foram preparados com a mesma quantidade de ingredientes, com exceção do amido modificado, o qual tem diferença de lipídio, devido a sua modificação com 8% de óleo de abacate em sua estrutura, além disso a cocção e processamento alteram a estrutura do amido de arroz, sendo capaz de modificar as características nutricionais e a digestibilidade do mesmo (BERG et al., 2012).

O amido pode ser classificado referente a sua digestão, sendo dividido em: rapidamente digeríveis (RDS), sendo este digerido em vinte minutos e causando aumento no índice glicêmico, amido de digestão lenta (SDS) tendo sua digestão no período de vinte a cento e vinte minutos após consumo do alimento, e amido resistente (AR) que por sua vez, não pode ser digerido no intestino, mas pode sofrer fermentação em ácidos graxos de cadeia curta na flora intestinal (OKUMUS et al., 2018). A modificação do amido através do complexo de inclusão amilose-lipídio pode se dar a partir do aquecimento e resfriamento (CHAO et al., 2018) e tem por método a apreensão do lipídio em uma cavidade hidrofóbica da molécula de amido (LIU et al., 2023), a adição do lipídio tende a

diminuir a retrogradação do amido, diminuindo a lixiviação da amilose durante o aquecimento (BECKER et al., 2001), este processo de modificação e o complexo de inclusão amilose-lipídio gera um tipo de AR, o qual vem sendo pesquisado e notado, o AR tipo 5 (BIRT et al., 2013; KANG et al., 2022).

Observa-se na Tabela 6 a diferença na digestibilidade do amido nativo quando comparado ao amido modificado na fase intestinal, nos tempos I0 a I10 o amido nativo foi hidrolisado mais rapidamente, sendo 13,46% para I0, 45,97% para I5 e 52,60% para I10 enquanto o amido modificado teve seu processo mais lento, obtendo 9,63% para I0, 28,75% para I5 e 37,98 para I10. Com relação às formulações dos bolos, , observam-se ainda resultados mais favoráveis na formulação M+OA, que mostrou menor digestibilidade, tanto na fase gástrica como na intestinal, provavelmente, o perfil de ácidos graxos do óleo de abacate, bem como sua natureza (não refinado), tenham contribuído com maiores teores de ácidos graxos de cadeia curta, que auxiliam mais efetivamente na complexação do amido, reduzindo sua digestibilidade (LIU et al., 2023) e conseqüentemente na redução do índice glicêmico. Ao final do processo de digestão (I120) também foi verificada reduzida digestibilidade dos bolos elaborados com amido nativo e modificado com óleo de abacate na formulação, comprovando a influência deste ingrediente na redução da digestibilidade do amido.

### 3.6 Compostos fenólicos

O conteúdo de compostos fenólicos foi significativamente maior ( $p \leq 0,05$ ) no bolo elaborado com amido nativo e óleo de abacate, sendo seguido pelo preparado com amido modificado contendo óleo de abacate (Tabela 7). O mais baixo valor foi encontrado para o bolo contendo amido nativo e óleo de soja ( $p \leq 0,05$ ). Esperava-se que maior valor fosse encontrado no produto contendo amido modificado e óleo de abacate, pois no processo de modificação, houve a adição de 8% de óleo de abacate para formação de complexo de inclusão com o amido, assim, este produto teria maior quantidade de óleo de abacate, que é reconhecido por ser fonte de compostos fenólicos (COSTA et al., 2021). Contudo, os valores encontrados para os bolos contendo óleo de abacate e/ou amido modificado foram relativamente próximos e superaram expressivamente o obtido para o bolo sem a presença deste óleo (N+OS).

**Tabela 7.** Compostos fenólicos e atividade antioxidante das quatro formulações de bolo sem glúten.

Parâmetros	N+OA	N+OS	M+OA	M+OS
Compostos fenólicos (mg EAG.100g <sup>-1</sup> )	237,38 ± 4,1a	112,91 ± 1,8d	228,23 ± 2,6b	216,11 ± 0,7c
DPPH (µM de trolox.g <sup>-1</sup> )	963,73 ± 2,3aB	868,73 ± 12,4cB	948,40 ± 4,7abB	937,84 ± 3,9bB
ABTS (µM de trolox.g <sup>-1</sup> )	1776,67 ± 40,4bcA	1861,67 ± 28,3abA	1686,67 ± 60,0cA	1961,67 ± 5,0aA

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate. Médias acompanhadas por letras diferentes, minúsculas na mesma linha ou letra maiúscula na mesma coluna, diferem estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Em relação a atividade antioxidante, constatou-se discrepância nos valores em função do método, tendo a determinação por ABTS resultado em valores significativamente maiores para todas as amostras ( $p \leq 0,05$ ). A atividade antioxidante a partir da captura do radical 2,2'-azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico (ABTS) pode ocorrer por meio de reação química, eletroquímica ou enzimática, capaz de determinar a atividade de compostos de natureza tanto hidrofílica como lipofílica

(SUCUPIRA et al., 2012; SILVA et al., 2022). Tal fato pode ter contribuído para obtenção de maiores valores por esta metodologia.

Os valores encontrados para a atividade antioxidante, determinada pelo método de DPPH, evidenciaram comportamento próximo ao obtido para compostos fenólicos, neste caso, porém, não houve diferença entre os bolos elaborados com óleo de abacate (N+AO e M+OA), ambos apresentaram maiores valores ( $p \leq 0,05$ ). O menor valor para este parâmetro foi obtido para o bolo contendo amido nativo e óleo de soja ( $p \leq 0,05$ ). No método por DPPH, parece que a atividade antioxidante foi influenciada pelo conteúdo de compostos fenólicos, pois houve concordância entre os valores destas determinações.

Na determinação da atividade antioxidante por ABTS, ainda que tenham sido encontrados maiores valores, estes não mostraram a mesma tendência daqueles obtidos pelo método por DPPH ou dos compostos fenólicos. Como neste método há captura de diferentes radicais, inclusive de polaridades distintas, possivelmente, outros compostos presentes, além dos fenólicos, podem ter exercido influência. Considerando que as amostras com maior atividade antioxidante por ABTS foram aquelas contendo óleo de soja (N+OS e M+OS) e que o óleo de soja utilizado era adicionado de ácido cítrico, acredita-se que este composto possa ter contribuído para os maiores valores.

### **3.7 Análise sensorial**

Participaram da pesquisa cinquenta e quatro (54) avaliadores não treinados, sendo 66,7% do sexo feminino. Destes, 46,3% tinham idade entre 19-24 anos, 37% com idade entre 25 e 31 anos, 5,6% entre 32-39 anos e 11,1% acima dos 40 anos de idade. Com relação ao consumo de bolos, 90,7% dos avaliadores reportaram que costumam consumir bolos em suas dietas, contudo, apenas 14,8% preferem consumir alimentos sem glúten, sendo 15,5% por doença celíaca e 42,1% por opção própria, julgando ser mais saudável.

Os resultados obtidos (Tabela 8) mostraram que somente houve diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os bolos no atributo aparência, sendo que a formulação com amido modificado e óleo de abacate se destacou, obtendo a maior média. Por outro lado, o bolo com amido nativo e óleo de soja, recebeu o menor escore médio, indicando aparência menos favorecida. Esses resultados podem ter sido influenciados pela alveolação do miolo, tendo em vista que o bolo com amido modificado e óleo de abacate apresentou alvéolos menores e bem distribuídos, enquanto aquele com amido nativo e óleo de soja apresentou poucos alvéolos e de tamanhos maiores, portanto, resultando em aspecto menos uniforme. Ainda, tanto a cor da crosta como a do miolo, também podem

ter influenciado nestes dados, considerando os resultados superiores encontrados para estes parâmetros para o bolo com amido modificado e óleo de abacate, em relação ao com amido nativo e óleo de soja.

Em relação à cor, textura, sabor e impressão global, todas as formulações foram consideradas iguais, não se detectando diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ) entre os bolos, em qualquer destes atributos. Quanto a aparência e cor, todas as formulações caracterizaram-se entre as descrições “gostei moderadamente” e “gostei muito”, da escala hedônica utilizada, já os demais atributos, no geral, situam-se entre as descrições “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”. Considerando que se trata de um produto isento de glúten, e que a ausência desta fração proteica influencia nas características sensoriais, ainda que a maioria dos avaliadores não tenham o hábito do consumo de produtos sem glúten, considera-se que os resultados foram bastante satisfatórios.

**Tabela 8.** Avaliação sensorial das formulações de bolo isentos de glúten.

Atributos	Tratamentos			
	N+OS	N+OA	M+OS	M+OA
Aparência	7,20 ± 1,57 b	7,41 ± 1,47 ab	7,41 ± 1,86 ab	8,09 ± 1,17 a
Cor	7,57 ± 1,34 a	7,48 ± 1,48 a	7,68 ± 1,61 a	7,96 ± 1,37 a
Textura	6,69 ± 1,89 a	6,52 ± 1,78 a	6,54 ± 2,11 a	7,06 ± 2,07 a
Sabor	7,22 ± 1,53 a	6,48 ± 1,84 a	6,33 ± 2,27 a	6,78 ± 2,00 a
Impressão global	7,15 ± 1,27 a	6,78 ± 1,64 a	6,52 ± 2,05 a	7,07 ± 1,78 a
Índice de aceitação %*	79,44	75,33	72,44	78,56

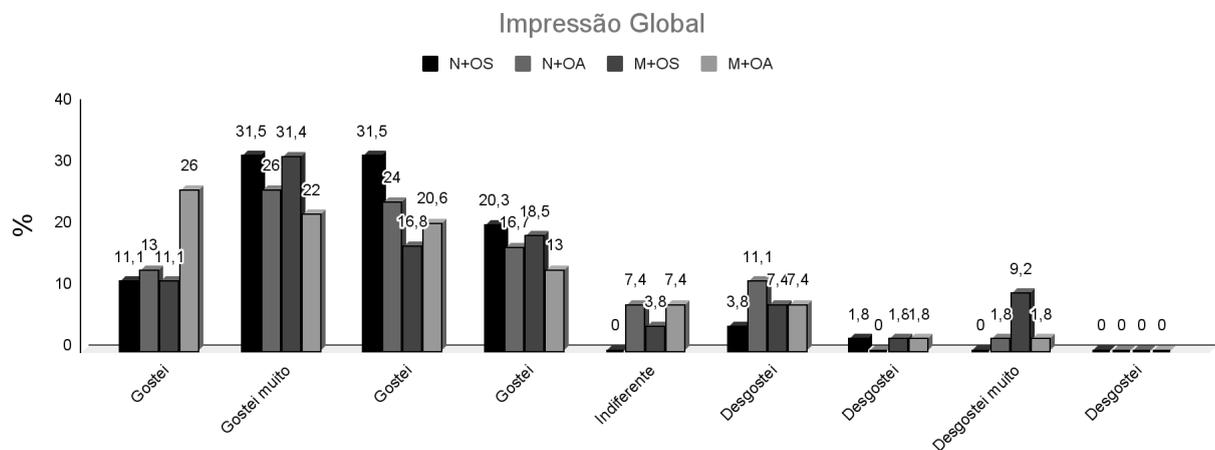
N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate. Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não apresentam diferença estatística significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

\*Calculado a partir dos valores de impressão global.

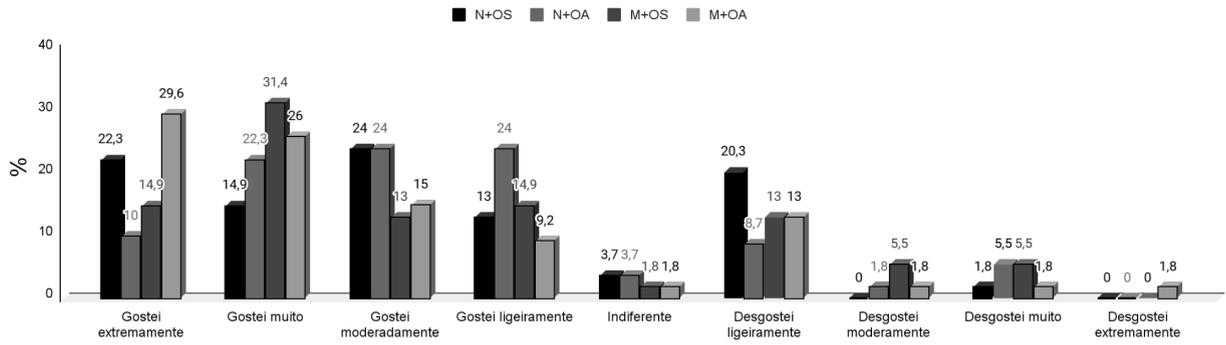
Os resultados obtidos para o índice de aceitação variaram de 72,44% (amido modificado e óleo de soja) a 79,44% (amido nativo e óleo de soja). Para que um produto seja considerado aceito pelo mercado consumidor, deve apresentar um índice de aceitabilidade  $\geq 70\%$  (DUTCOSKY, 2013), assim, todos os bolos isentos de glúten desenvolvidos, indicaram bom potencial mercadológico.

Ricarte et al. (2019) descreve que a análise sensorial é de suma importância não somente para avaliar a qualidade de um alimento, mas também para determinar a aceitabilidade do alimento frente aos consumidores. Através de análise sensorial os autores Montagner e Storck (2019) verificaram a baixa aceitação e o baixo potencial mercadológico de bolos sem glúten, no qual houve a incorporação de farinha de sorgo; ademais, os autores observaram um baixo resultado na intenção de compra do produto.

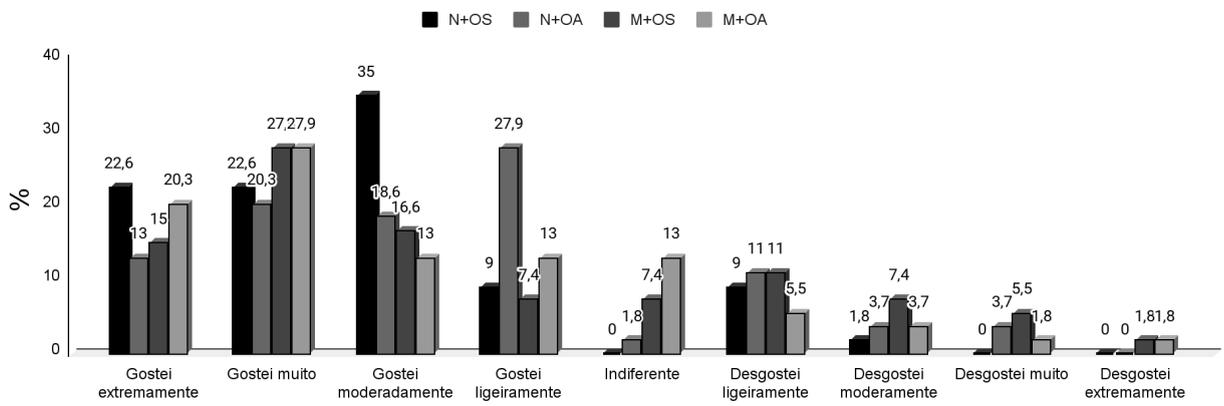
A Figura 2 (a, b, c, d) mostra a frequência de distribuição da escala hedônica para os atributos avaliados nas quatro formulações de bolos isentos de glúten. Observa-se que em relação à impressão global, textura e cor, houve maior percentual de respostas para descrição “gostei extremamente” para a formulação de bolo contendo amido modificado e óleo de abacate. Em relação ao sabor, nesta mesma descrição, houve um percentual de respostas ligeiramente maior para a formulação com amido nativo e óleo de soja, seguida daquela contendo amido modificado e óleo de abacate e, quanto a aparência, o destaque foi para o bolo com amido nativo e óleo de abacate, com 24% das respostas na descrição “gostei extremamente”.



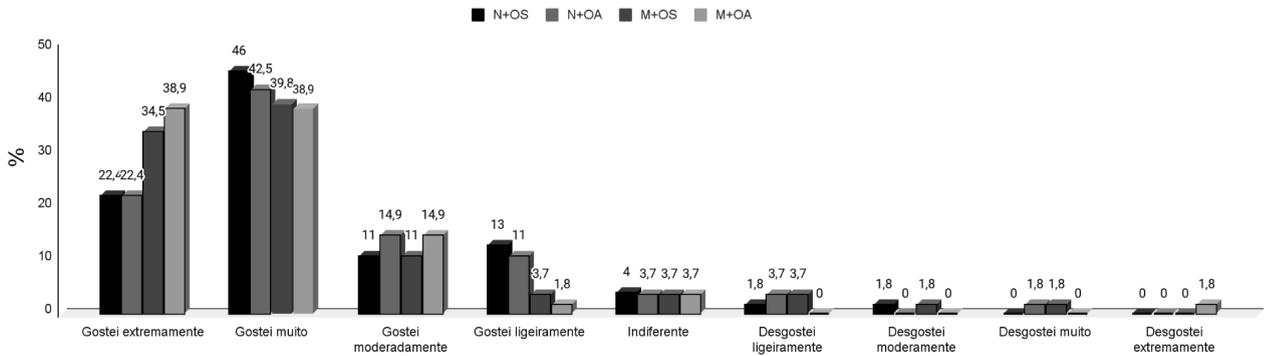
Textura



Sabor



Cor



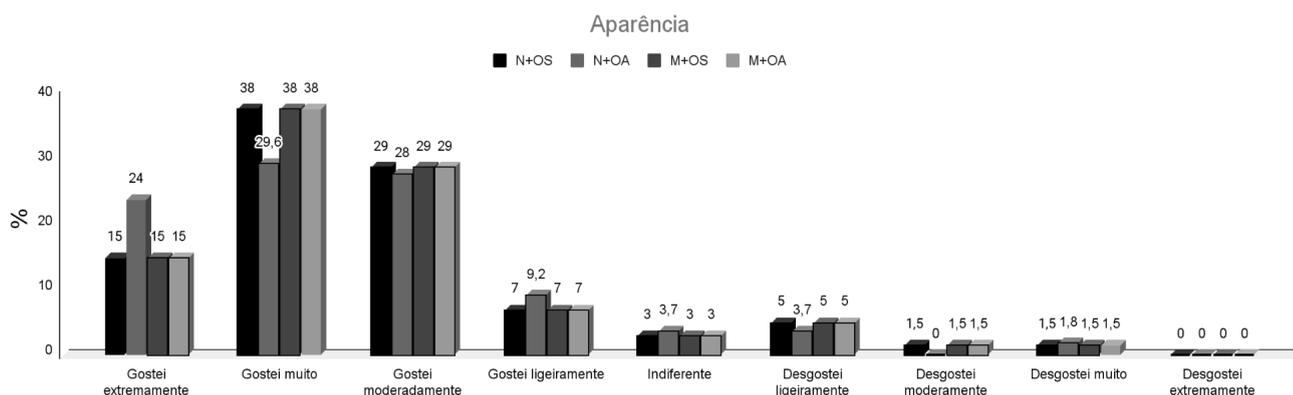


Figura 2- Frequência de distribuição da escala hedônica para os atributos impressão global, textura, sabor, cor e aparência das formulações de bolo isentos de glúten.

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate.

Observa-se que no geral as maiores frequências de respostas estiveram para as descrições mais favoráveis. Somando-se o percentual de respostas entre as designações “gostei extremamente” e “gostei moderadamente”, verifica-se que para impressão global, o bolo com amido nativo e óleo de soja somou 74% das respostas; com esse mesmo amido, mas com óleo de abacate, o percentual foi de 63% e já com amido modificado e óleo de soja, 59% e com óleo de abacate 68,6%. Para a textura, a soma do percentual entre “gostei extremamente” e “gostei moderadamente”, indicou para o bolo com amido nativo e óleo de soja 61,2% das respostas e com óleo de abacate, 56,3%, já com amido modificado e óleo de soja, 59,3% e com óleo de abacate 70,6%. Para o sabor, entre as designações “gostei extremamente” e “gostei moderadamente”, obtiveram-se percentuais de 80,2% de respostas para bolo com amido nativo e óleo de soja e de 51,9% com o óleo de abacate; para o bolo com amido modificado e óleo de soja, 58,8% e com óleo de abacate 61,2%. Em relação a cor, a soma dos percentuais de respostas entre estas descrições foram de 79,2% para bolo com amido nativo e óleo de soja e de 79,8% com o óleo de abacate, e para o bolo com amido modificado e óleo de soja, 85,4% e com óleo de abacate 92,7%. Por fim, quanto a aparência, esta soma representou 82% para bolo com amido nativo e óleo de soja e de 81,6% com o óleo de abacate, e para o bolo com amido modificado e óleo de soja, 82% e com óleo de abacate também 82%.

Para o teste de ordenação de preferência utilizou-se a tabela de Newell e MacFarlane ( $\alpha = 5\%$ ) na qual obteve-se o valor da mínima diferença significativa entre os totais de ordenação. A diferença mínima significativa para a análise com 54 avaliadores

não treinados, para 4 amostras, é de 35. Assim, todas as amostras que diferem entre si por um valor maior ou igual a 35, são significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Analisando os dados da Tabela 9, pode-se afirmar que não houve diferença significativa em relação à preferência dos avaliadores pelas amostras.

**Tabela 9.** Preferência sensorial pelas formulações de bolo isentos de glúten elaboradas com amido de arroz.

	Tratamentos			
	N+OS	N+OA	M+OS	M+AO
Soma dos pontos da preferência	132 a	129 a	139 a	140 a

N+OS (formulação padrão) bolo com amido de arroz nativo e óleo de soja na composição; N+OA: bolo com amido de arroz nativo e óleo de abacate na composição; M+OS: bolo com amido de arroz modificado e óleo de soja na composição; M+OA: bolo com amido de arroz modificado e óleo de abacate na composição. Valores seguidos pela mesma letra não apresentam diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ), de acordo com a tabela de Newell e Mac Falane (1987). Valor 1 = mais preferida e valor 4 = menos preferida

Os dados da preferência ficaram em consonância com os da aceitação pela escala hedônica, em que também, no geral, não se evidenciou diferença entre as amostras (a exceção da aparência). Contudo, numericamente, verificaram-se maiores valores para os bolos com amido modificado, indicando uma certa tendência de maior preferência por estes, ainda que não estatisticamente significativa.

### 3.8 Análise microbiológica

Dentre as quatro formulações, não foi constatada a presença de *Salmonella* spp. e *Escherichia coli*. No Brasil, a Instrução Normativa nº 161 de 2022 (BRASIL, 2022) estabelece que os bolos prontos para consumo devem apresentar valores inferiores a  $<10^2$  para *Escherichia coli* e ausência de *Salmonella* spp. Ambos os valores estavam de acordo com a legislação vigente, demonstrando que as quatro formulações de bolo estavam próprias para consumo.

Estudos com ausência das bactérias preconizadas pela legislação são encontrados na literatura referentes a bolos e farináceos. Maia et al. (2018) reforçam a qualidade higiênico-sanitária em seu estudo o qual analisou amostras de bolo feito com farinha de maracujá. O cuidado higiênico-sanitário com as amostras somado ao processo de cocção

em alta temperatura por tempo determinado são fatores primordiais para a ausência das bactérias patogênicas. Na análise microbiológica de *petit gateau* recheado com doce de banana com e sem casca realizado por Costa et al. (2015), em que também foi constatado ausência das bactérias citadas.

### **3.9 Avaliação da umidade ao longo do armazenamento**

A umidade dos produtos de panificação, assim como os bolos, é considerada um indicador de qualidade devido ao seu efeito direto nas propriedades sensoriais (NHOUCHI et al., 2023), desta forma, deve-se evitar a exposição ao ar de produtos alimentícios secos, para evitar absorção de umidade, pois isto é desfavorável ao alimento (FORD; DAWSON, 1994; NAKAGAWA et al., 2022). Matejtschuk et al. (2005) relataram que há entrada de ar, mesmo que o produto esteja em embalagem fechada, ao decorrer de um longo período de armazenamento, evidenciando que é vital o controle de umidade dos produtos, visando sua qualidade e segurança alimentar.

De acordo com a Tabela 10, do primeiro ao terceiro dia de armazenamento dos bolos não houve diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ) nos valores de umidade entre as formulações, com exceção da amostra N+OS no primeiro dia o qual difere das demais formulações, entretanto os valores encontrados representam um resultado positivo, quando relacionado a vida útil, pois o envelhecimento do produto está ligado a perda de umidade, retrogradação do amido e perda de sabor e aroma (KARAOGLU; KOTANCILAR, 2009; KORKMAZ et al., 2023). Porém, a partir do quinto dia a amostra M+OS apresentou a maior porcentagem de umidade (36,75%), diferindo significativamente das demais, seguida da amostra N+OA, a qual apresentou 32,30%. Observou-se baixa influência do tipo do óleo utilizado, soja ou abacate, com relação a umidade das amostras no dia 5.

**Tabela 10.** Umidade dos bolos isentos de glúten ao longo de 7 dias de armazenamento, a  $25\pm 1$  °C.

Formulação	Umidade (%)			
	Dia 1	Dia 3	Dia 5	Dia 7
N+OS	33,9213 $\pm$ 0,4530 b	34,1075 $\pm$ 0,2954 a	25,6621 $\pm$ 1,3061 c	29,6458 $\pm$ 0,0513 b
N+OA	37,5609 $\pm$ 2,0862 a	36,9085 $\pm$ 0,1917 a	32,2963 $\pm$ 3,8957 b	33,7474 $\pm$ 0,4710 a
M+OS	37,7445 $\pm$ 0,8884 a	35,4371 $\pm$ 0,4796 a	36,7546 $\pm$ 0,3157 a	29,3817 $\pm$ 2,3892 b
M+OA	37,2042 $\pm$ 1,5193 a	35,2985 $\pm$ 2,1598 a	30,4158 $\pm$ 2,4508 bc	34,8894 $\pm$ 0,7333 a

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não apresentam diferença estatística significativa ( $p\geq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

A Figura 3 mostra o comportamento das formulações de bolo isentos de glúten quanto a umidade, em função do tempo de armazenamento.

Avaliando-se a partir da regressão polinomial, verificou-se que as pequenas variações no conteúdo de umidade dos bolos isentos de glúten, ao longo dos 7 dias de armazenamento, não foram significativas em qualquer das formulações ( $p\leq 0,05$ ).

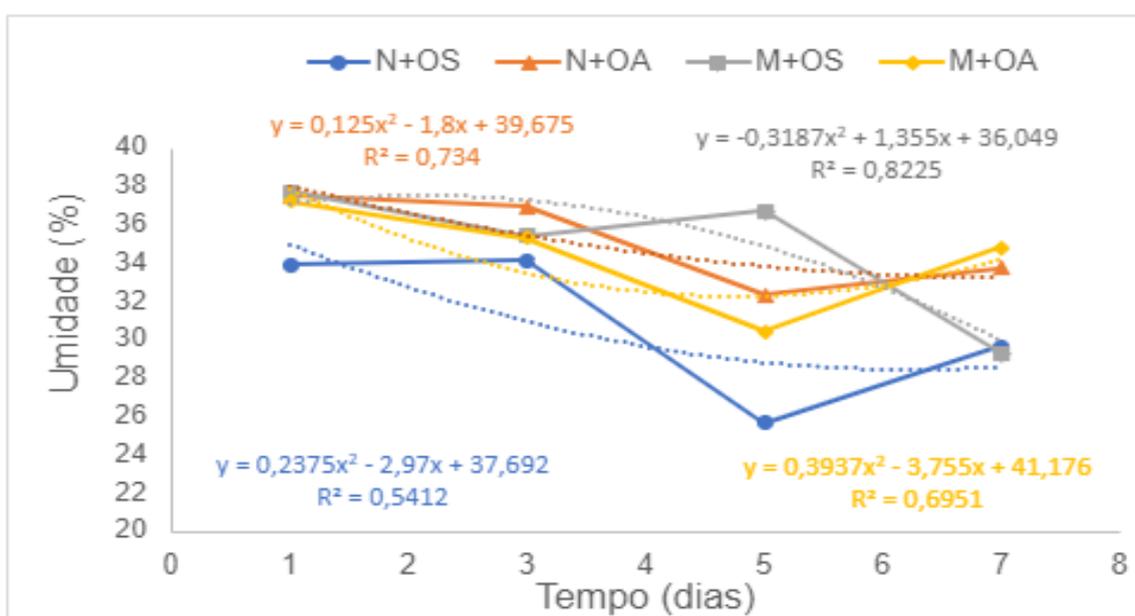


Figura 3 – Umidade dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a  $25\pm 1$  °C. N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate.

### 3.9.1 Avaliação da perda de massa ao longo do armazenamento

A perda de massa é uma das propriedades, em termos de rendimento do produto, mais importantes em meio a panificação (KORKMAZ et al., 2023), quando há grandes perdas de massa há alteração sensorial no produto, causando aspecto de envelhecimento quando ingerido, prejudicando a aceitação do mesmo (AYVAZ et al., 2021).

Os resultados para as quatro formulações de bolos isentos de glúten são apresentados na Tabela 11. Observou-se um bom resultado com relação a esse atributo, tendo em vista os valores apresentados para cada formulação. Nos dias 3 e 5 as formulações obtiveram resultados semelhantes entre si, não apresentando diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ). A perda de massa de um bolo é dependente da quantidade de água mantida no produto após seu cozimento (BELORIO et al., 2019).

**Tabela 11.** Perda de massa dos bolos isentos de glúten ao longo de 7 dias de armazenamento, a  $25 \pm 1$  °C.

Formulação	Perda de massa		
	Dia 3	Dia 5	Dia 7
N+OS	0,655±0,189 a	1,311±0,379 a	1,7384±0,3204 a
N+OA	0,755±0,492 a	1,386±0,853 a	1,5436±0,8025 a
M+OS	0,400±0,106 a	0,801±0,213 a	1,1193±0,4231 a
M+OA	0,548±0,104 a	1,096±0,208 a	1,2521±0,5073 a

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não apresentam diferença estatística significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Embora os baixos teores de proteínas e fibras, que são responsáveis pela baixa capacidade de retenção de água em um produto de panificação, o volume inicial do bolo também é um fator primordial para os resultados da perda de massa, sabe-se que bolos apresentando maior volume inicial acabam por ter maior perda de massa (DE LA HERA et al., 2014). Entretanto, não houve diferença estatisticamente ( $p \geq 0,05$ ) significativa com relação a perda de massa nas formulações de bolos isentos de glúten.

A Figura 4 mostra o comportamento das formulações quanto a perda de massa em função do tempo de armazenamento a partir da regressão polinomial.

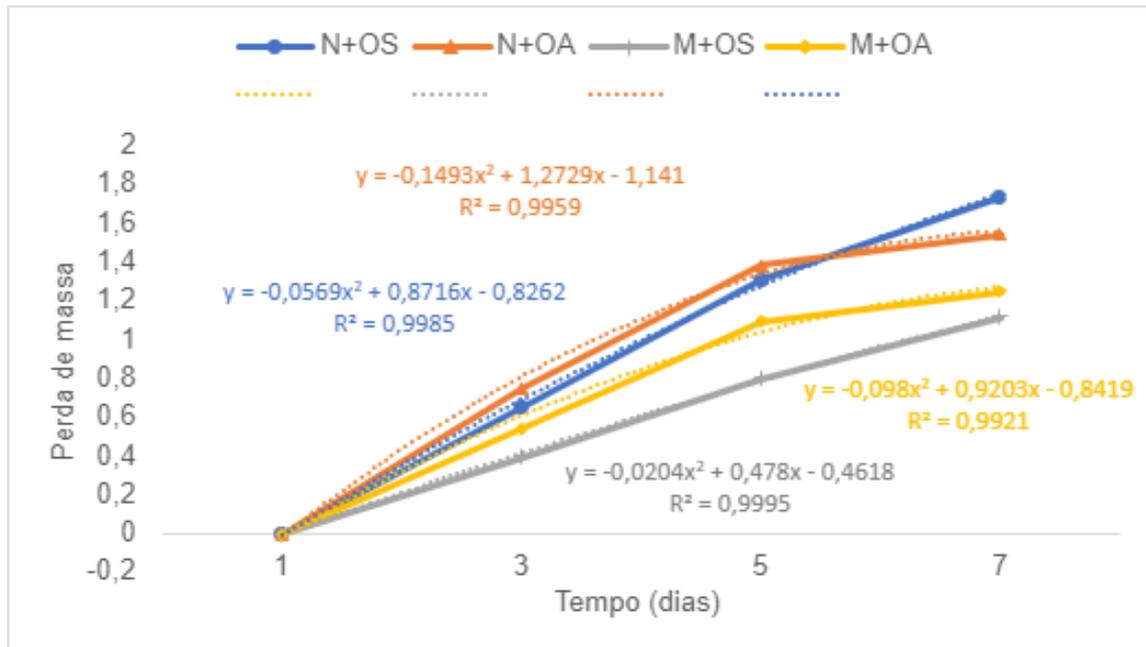


Figura 4 – Perda de massa dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a  $25\pm 1$  °C. N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate.

Observa-se através da Figura 4 que, a avaliação de cada uma das formulações ao longo do tempo de armazenamento evidenciou que todas sofreram alterações estatisticamente significativas ( $p\leq 0,05$ ). Considerando as diferenças nos valores de umidade que foram observadas nas quatro formulações de bolo, pode-se inferir que houve influência sobre a perda de massa no decorrer de sete dias de estudo.

O aumento do lipídio, como ingrediente dos bolos, favorece a retenção de umidade, o que poderia justificar os resultados encontrados, já que o amido modificado continha 8% de óleo de abacate complexado.

### 3.9.2 Avaliações de parâmetros de textura ao longo do armazenamento

Os dados de textura dos bolos isentos de glúten, ao longo do armazenamento estão presentes na Tabela 12. Em relação às médias apresentadas observou-se diferenças estatisticamente significativas entre as amostras. No dia 1 de análise a amostra M+OA apresentou os menores valores, enquanto a amostra N+OA (amostra padrão), mostrou os maiores valores na análise de textura.

A gomosidade, mastigabilidade e dureza são características de grande importância para um produto alimentício durante a vida útil, sabendo que a gomosidade é definida como o produto da dureza e da coesão juntas, e a mastigabilidade é definida por ser a energia necessária para dissolver um alimento na boca (LUNA et al., 2022). Essas características também foram analisadas separadamente, podendo observar o efeito durante o período de armazenamento.

Com relação a Tabela 12, os valores apresentados após o dia 5 de armazenamento evidenciaram que o bolo M+OA mostrou, de forma global para os parâmetros analisados, vantagem, sendo um bom indicativo para comercialização. Uma hipótese para os achados seria a presença de óleo de abacate em maior quantidade nessa amostra, corroborando com os demais achados deste estudo. Parece que o óleo de abacate beneficia o alimento em diversos aspectos, assim como na estabilidade da textura. Em contrapartida, os maiores valores encontrados foram para as amostras controle (N+OS) e N+OA, especialmente no período final de avaliação, embora o bolo N+OA contenha o óleo de abacate, apresenta menor teor de lipídio ao ser comparado com os bolos feitos com amido modificado.

**Tabela 12.** Textura dos bolos isentos de glúten durante o armazenamento por 7 dias, 25±1 °C.

Textura – Dia 1						
Formulação	Dureza	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade	Mastigabilidade	Resiliência
N+OS	205,744±12,877 a	0,922±0,020 b	0,793±0,035 a	171,287±10,305 a	164,191±10,962 a	0,537±0,029 a
N+OA	185,751±14,858 c	0,958±0,013 a	0,639±0,022 ab	112,981±19,051 b	104,512±17,949 b	0,408±0,027 b
M+OS	195,158±10,797 b	0,886±0,026 c	0,515±0,041 bc	99,023±5,395 c	88,405±6,472 c	0,281±0,044 c
M+OA	173,747±3,994 d	0,820±0,062 d	0,407±0,049 c	71,763±14,775 d	59,315±9,206 d	0,237±0,031 d
Textura – Dia 3						
Formulação	Dureza	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade	Mastigabilidade	Resiliência
N+OS	433,772±8,777 a	0,875±0,030 a	0,395±0,160 ab	207,7567±96,159 a	183,301±89,007 a	0,226±0,066 a
N+OA	409,233±33,691 c	0,832±0,120 b	0,410±0,017 a	192,8164±39,611 b	163,727±55,945 b	0,185±0,013 b
M+OS	426,251±47,237 b	0,683±0,037 c	0,320±0,038 bc	137,604±28,556 c	94,576±23,624 c	0,138±0,019 c
M+OA	255,947±58,381 d	0,542±0,039 d	0,256±0,036 c	65,339±17,354 d	35,020±7,059 d	0,112±0,015 d
Textura – Dia 5						
Formulação	Dureza	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade	Mastigabilidade	Resiliência
N+OS	462,978,±152,838 b	0,872±0,047 b	0,487±0,147 ab	192,210±56,226 b	173,746±45,482 b	0,375±0,023 a
N+OA	497,742±102,09a	0,877±0,064 a	0,492±0,052 a	217,205±46,064 a	186,611±50,511 a	0,253±0,054 b
M+OS	303,579±21,916 c	0,785±0,021 c	0,402±0,039 bc	123,431±20,652 c	92,804±12,734 c	0,198±0,031 c
M+OA	274,168±59,894 d	0,681±0,037 d	0,321±0,032 c	68,551±12,014 d	46,224±11,703 d	0,160±0,040 d
Textura dia 7						

Formulação	Dureza	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade	Mastigabilidade	Resiliência
N+OS	486,272±84,279 a	0,832±0,120 b	0,410±0,017 a	192,816±39,611 a	163,727±55,944 b	0,185±0,013 b
N+OA	485,124±102,954b	0,875±0,309 a	0,395±0,160 a	207,756±96,159 a	183,301±89,007 a	0,226±0,066 a
M+OS	255,947±58,381 d	0,542±0,039 d	0,256±0,036 a	65,339±17,354 d	35,020±7,059 d	0,112±0,015 d
M+OA	426,251±47,237 c	0,683±0,037 c	0,320±0,038 a	137,604±28,556 b	94,576±23,624 c	0,138±0,019 c

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não apresentam diferença estatística significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Para mastigabilidade, os bolos apresentaram resultados com diferenças estatisticamente significativas em todos os dias de avaliação, sendo que no decorrer dos dias, grande parte dos valores, foram diminuindo. O menor valor obtido foi para amostra M+OA, até o quinto dia de análise, porém no sétimo dia a amostra M+OS foi a com menor valor neste parâmetro ( $p \leq 0,05$ ). Também foram observadas alterações significativas ao longo do armazenamento em todas as amostras (Figura 5), em relação a mastigabilidade ( $p \leq 0,05$ ).

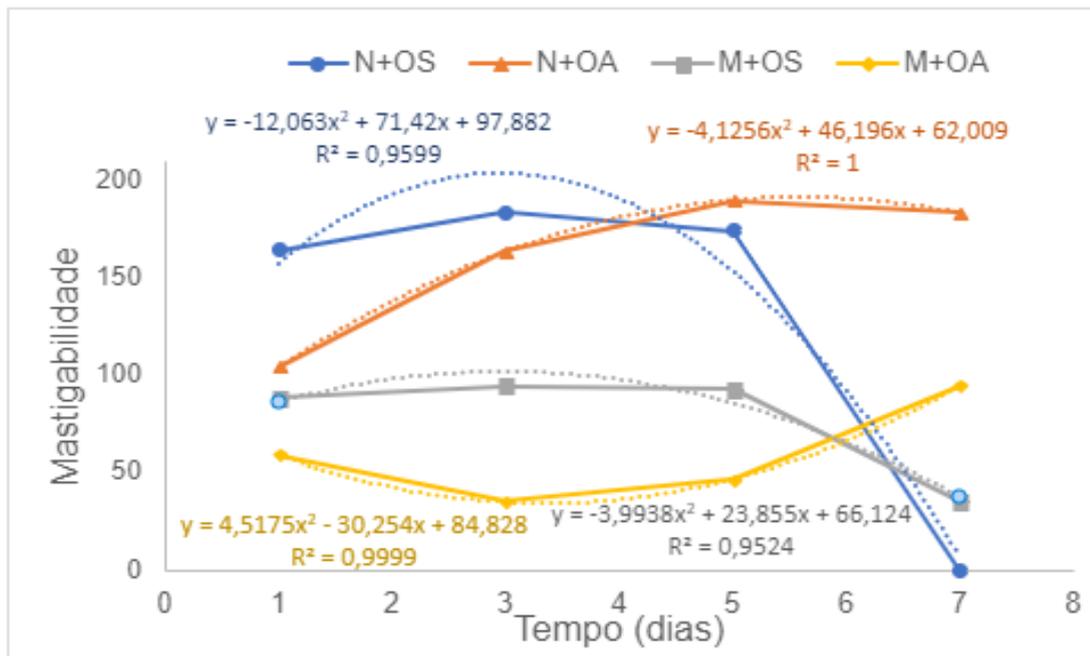


Figura 5 – Mastigabilidade dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a  $25 \pm 1$  °C.

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate.

Corroborando com os achados na característica gomosidade, o parâmetro de dureza nos bolos isentos de glúten durante o armazenamento também retrata os menores valores na amostra M+OA, em contrapartida os maiores valores estão presentes na formulação N+OS, que seria a formulação padrão, como também na amostra N+OA. Semelhante às características anteriores citadas, as amostras M+OA e M+OS se diferenciam principalmente com relação ao sétimo dia de análise, em que o bolo M+OS apresenta os menores valores, evidenciando que a dureza o bolo diminui no sétimo dia, enquanto a amostra M+OA mostra somente tendência de aumento.

A avaliação a partir da regressão polinomial, apresentada na Figura 6, mostrou que todos os bolos mostraram alteração significativa ao longo dos 7 dias de armazenamento para a gomosidade.

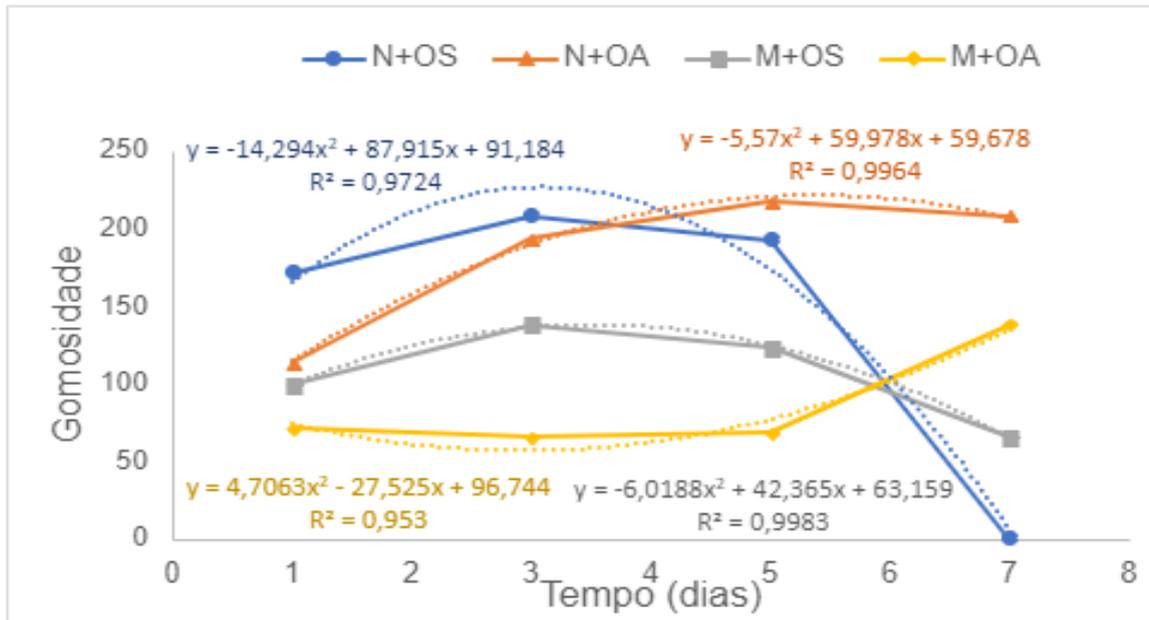


Figura 6 – Gomosidade dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a  $25 \pm 1$  °C.

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate.

Na análise de regressão polinomial da dureza, observa-se também a tendência do mesmo padrão das análises anteriores relacionadas às características de textura dos bolos isentos de glúten, ou seja, alterações significativas ao longo do armazenamento, contudo, neste caso a formulação M+OS foi a única que não mostrou esse comportamento. As demais amostras de bolos além de apresentarem diferença entre si nos resultados, também apresentam diferença com relação ao tempo de estudo.

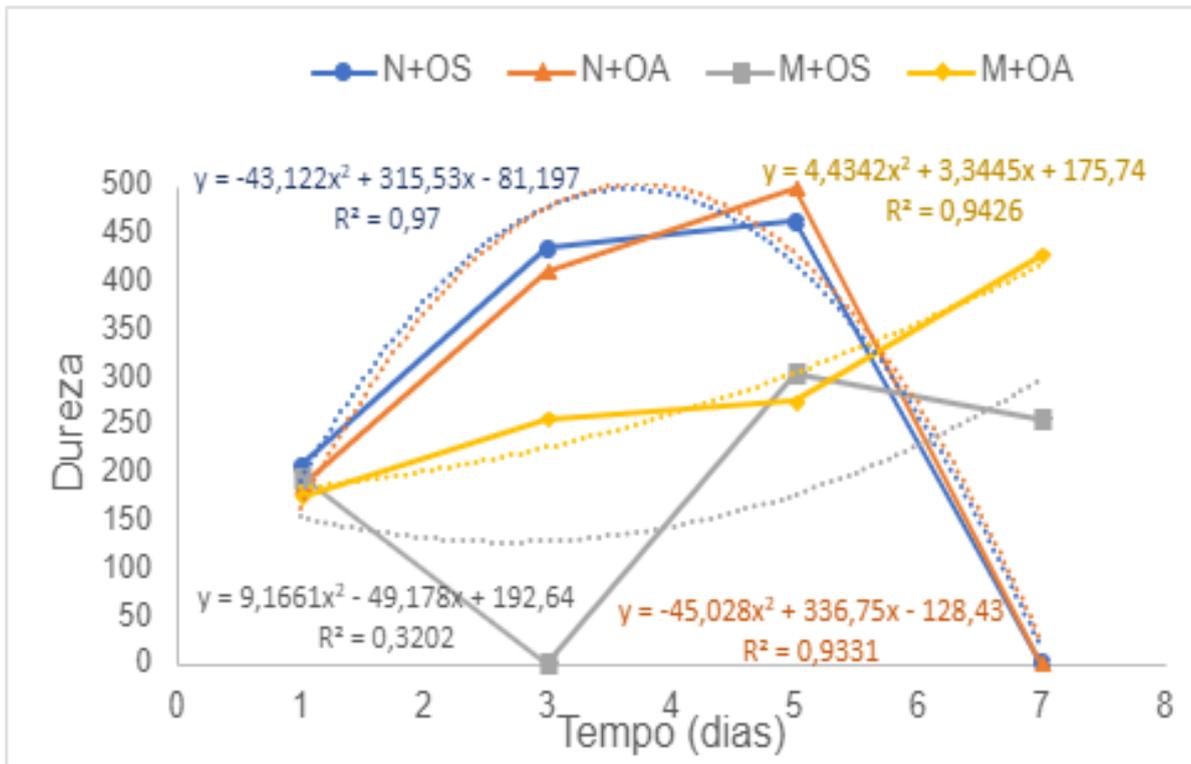


Figura 7 – Dureza dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a 25±1 °C. N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate.

Os parâmetros encontrados para elasticidade e resiliência não se mostraram muito diferentes ao longo do tempo, entretanto de acordo com a Tabela 12 observam-se baixos valores em todas as formulações para ambos os parâmetros. A elasticidade é a propriedade da amostra de voltar ao seu estado original, assim os valores encontrados refletem que todas as amostras apresentam bons parâmetros de elasticidade, sendo esse um fator essencial para a aceitação sensorial dos bolos. Outro parâmetro importante para se ressaltar, de acordo com a Tabela acima, é a resiliência das quatro formulações de bolos isentos de glúten, que indicou boas condições de todos os produtos, e poucas alterações ao longo da estocagem.

### 3.9.2 Avaliação da cor ao longo do armazenamento

A cor dos bolos é dividida entre a cor apresentada na crosta e a cor apresentada no miolo. Sabe-se a importância da cor visível ao consumidor, que é relativa a da crosta. A cor da crosta varia devido às diferentes temperaturas a que os produtos são

submetidos, quantidade de massa e composição de ingredientes. Durante o armazenamento dos produtos, espera-se que a cor não tenha alterações visíveis para os consumidores, fazendo com que o produto prossiga com uma vida útil aceitável.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 13, no primeiro dia de estudo houve diferença significativa entre as crostas das quatro formulações bolos em relação à luminosidade ( $L^*$ ) e ao parâmetro de cor  $a^*$ , sendo o menor valor encontrado na amostra M+OA, enquanto o maior valor, encontrado no bolo N+OS. Já o parâmetro de cor  $b^*$ , que indica a variação do azul ao amarelo, não apresenta diferença significativa entre as amostras, evidenciando o domínio da coloração amarela nos bolos.

Com relação aos demais dias de análise, a amostra M+OS no parâmetro  $L^*$  esteve sempre entre os maiores valores quando comparada às demais formulações, configurando uma intensificação da luminosidade nessa formulação, tanto  $a^*$  quanto  $b^*$  apresentaram valores menores no decorrer da análise.

Com relação ao miolo, observaram-se diferenças entre as amostras em todos os parâmetros de cor.

**Tabela 13.** Cor da crosta e do miolo das quatro formulações de bolos isentos de glúten durante o armazenamento por 7 dias, 25±1 °C.

Crosta – Dia 1						Miolo – Dia 1				
Formulação	L*	a*	b*	HUE	Croma	L*	a*	b*	HUE	Croma
N+OS	59,042±0,9 82 a	10,352±0,967 a	35,504±0,86 9 b	73,081±1,52 b	37,005±0,96 6 b	69,625±0,95 7 a	-3,137±0,398 a	18,577±0,70 6 b	-79,997±1,890 b	18,851±0,6 40 c
N+OA	57,193±0,7 87 ab	9,901±0,892 ab	33,253±0,97 3 d	73,800±1,125 b	34,758±0,87 9 c	68,175±0,92 8 ab	-4,633±0,239 d	23,957±0,61 7 c	-78,992±1,452 b	24,405±0,6 07 b
M+OS	54,831±0,9 52 b	10,331±0,651 a	34,945±0,90 7 c	73,444±0,547 b	36,461±0,70 7 bc	67,731±0,86 6 b	-4,470±0,783 d	24,033±0,97 2 c	-80,302±0,881 c	25,126±,3,3 05 b
M+OA	56,106±0,9 91 ab	8,783±0,933 b	37,767±0,80 4 a	76,992±0,845 a	38,839±0,52 9 a	69,326±0,90 6 a	-6,640±0,276 c	27,560±0,42 3 a	-76,289±1,030 a	28,352±0,3 85 a

Crosta – Dia 3						Miolo – Dia 3				
Formulação	L*	a*	b*	HUE	Croma	L*	a*	b*	HUE	Croma
N+OS	59,927±3,8 44 b	9,535±3,246 a	34,988±3,31 8 a	72,601±1,634 c	35,540±3,76 3 a	71,307±6,96 1 a	-2,486±0,766 a	16,826±1,45 7 c	-80,112±1,570 c	17,050±1,4 38 c
N+OA	63,088±3,7 53 b	4,272±1,673 b	30,817±2,49 9 bc	73,960±2,780 c	32,228±0,76 8 ab	68,175±0,92 8 a	-4,633±0,239 c	20,744±0,61 7 b	-78,992±1,254 b	21,365±0,6 07 b
M+OS	67,235±1,7 57 a	0,281±1,444 b	29,387±2,16 9 c	88,461±1,203 a	29,426±2,12 0 b	70,570±1,69 5 a	-3,537±0,130 b	17,135±0,47 5 c	-78,153±2,241 b	17,497±,0,4 87 c
M+OA	62,491±0,8 64 b	1,860±0,745 b	34,154±1,39 5 ab	84,066±0,007 b	34,378±1,26 8 a	68,730±2,41 5 a	-5,440±0,169 c	24,313±0,77 7 a	-77,419±3,041 a	24,940±0,7 29 a

Crosta – Dia 5						Miolo – Dia 5				
Formulação	L*	a*	b*	HUE	Croma	L*	a*	b*	HUE	Croma
N+OS	52,246±2,1 66 b	13,872±0,698 a	31,596±1,03 6 b	65,633±0,458 c	35,529±1,01 0 b	62,376±2,67 6 b	-0,083±0,466 a	20,171±1,36 b	-88,037±2,127 c	20,183±1,3 64 b
N+OA	66,594±2,8 28 a	6,780±3,472 b	37,090±3,77 2 a	77,693±2,544 a	37,937±3,92 7 a	75,0375±3,2 90 a	-3,114±3,929 b	24,935±3,43 9 a	-78,298±1,829 a	25,439±3,7 33 a
M+OS	67,140±6,2 41 a	6,919±3,611 b	35,333±2,48 5 a	72,497±1,698 b	36,403±3,21 6 ab	75,371±1,02 7 a	-2,611±0,065 b	19,459±1,13 5 b	-82,372±2,869 b	19,637±1,1 29 b
M+OA	53,843±2,5 79 b	12,792±1,090 a	37,151±0,92 5 a	77,693±1,547 a	39,333±0,70 1 a	73,035±1,03 7 a	-3,713±0,274 b	25,289±0,65 3 a	-81,673±2,576 b	25,566±0,6 48 a

Crosta – Dia 7						Miolo – Dia 7				
Formulação	L*	a*	b*	HUE	Croma	L*	a*	b*	HUE	Croma
N+OS	62,091±3,9 67 a	7,948±1,386 a	34,719±1,12 7 a	72,954±1,967 c	35,790±0,81 5 a	72,467±1,60 0 a	-2,368±0,227 a	19,024±0,80 7 b	-82,800±1,895 b	19,178±0,8 77 b
N+OA	61,855±3,6 4 a	5,191±2,854 ab	31,929±0,85 1 c	82,314±1,064 b	32,655±1,00 8 b	66,375±14,5 83 a	-4,777±0,240 c	20,497±0,54 3 a	-76,750±1,453 a	21,050±0,5 39 a
M+OS	64,675±2,0 09 a	2,901±1,941 bc	32,560±1,54 1 ab	86,444±2,316 a	32,792±1,72 8 b	68,361±1,18 7 a	-2,891±0,151 b	17,791±0,81 8 b	-80,240±3,881 b	18,029±0,8 08 b
M+OA	65,954±1,8 18 a	-0,292±1,285 c	31,894±1,71 6 c	87,271±1,077 a	31,942±1,69 6 b	67,789±1,47 4 a	-5,456±0,213 d	20,461±0,73 9 a	-75,009±3,030 a	21,178±0,7 34 a

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não apresentam diferença estatística significativa ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

A avaliação da luminosidade dos bolos ao longo do período de armazenamento está apresentada na Figura 8. Observou-se que as amostras N+OS e M+AO não mostraram modificações significativas com o decorrer do tempo, contudo, as amostras N+OA e M+OS evidenciaram alteração significativa. Esse comportamento deve ter sido influenciado pelos dados do dia 5 de avaliação, em que os bolos N+OS e M+OA mostraram queda nos valores de luminosidade, com posterior aumento, ou seja, mudança na tendência, que resultou em alterações não significativas. Contudo, as diferenças entre as formulações não explicam esse comportamento, já que ambas têm amidos e óleos diferentes.

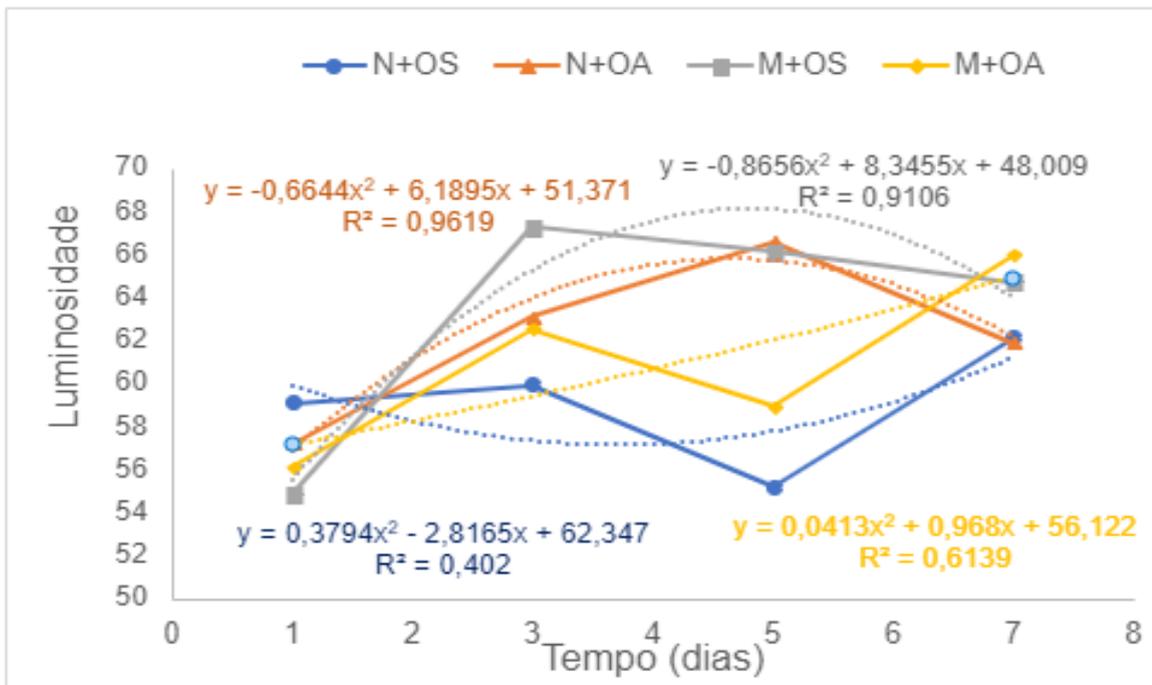


Figura 8 – Luminosidade ( $L^*$ ) da crosta dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a  $25\pm 1$  °C.

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate.

Com relação aos valores de croma da crosta dos bolos, o resultado da análise estatística apresentada na Figura 9 não mostrou variações significativas de qualquer das amostras com o decorrer do tempo de armazenamento. Na Figura 10 os valores de hue, cor propriamente dita, dos bolos durante os sete dias de análises, mostraram tendência semelhante a do croma, não mostrando alteração estatisticamente significativa para a maioria das formulações. Contudo, o bolo N+OA, alterou-se significativamente, indicando mudança de cor após 7 dias de estocagem.

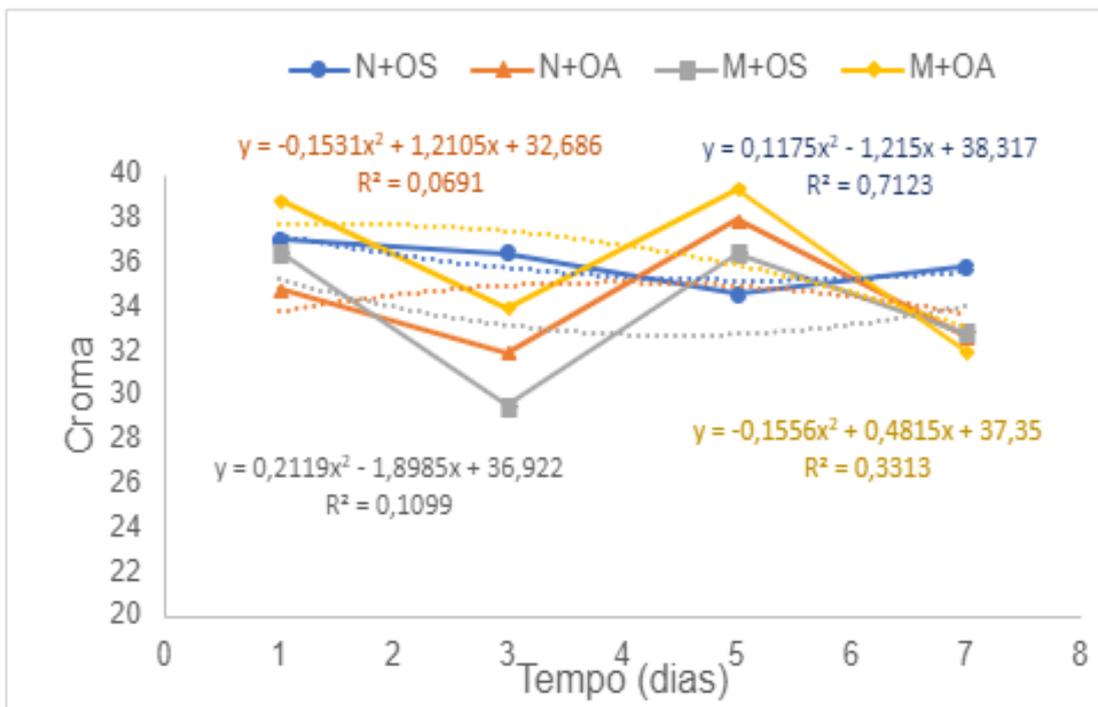


Figura 9 – Croma da crosta dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a  $25 \pm 1$  °C.

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate.

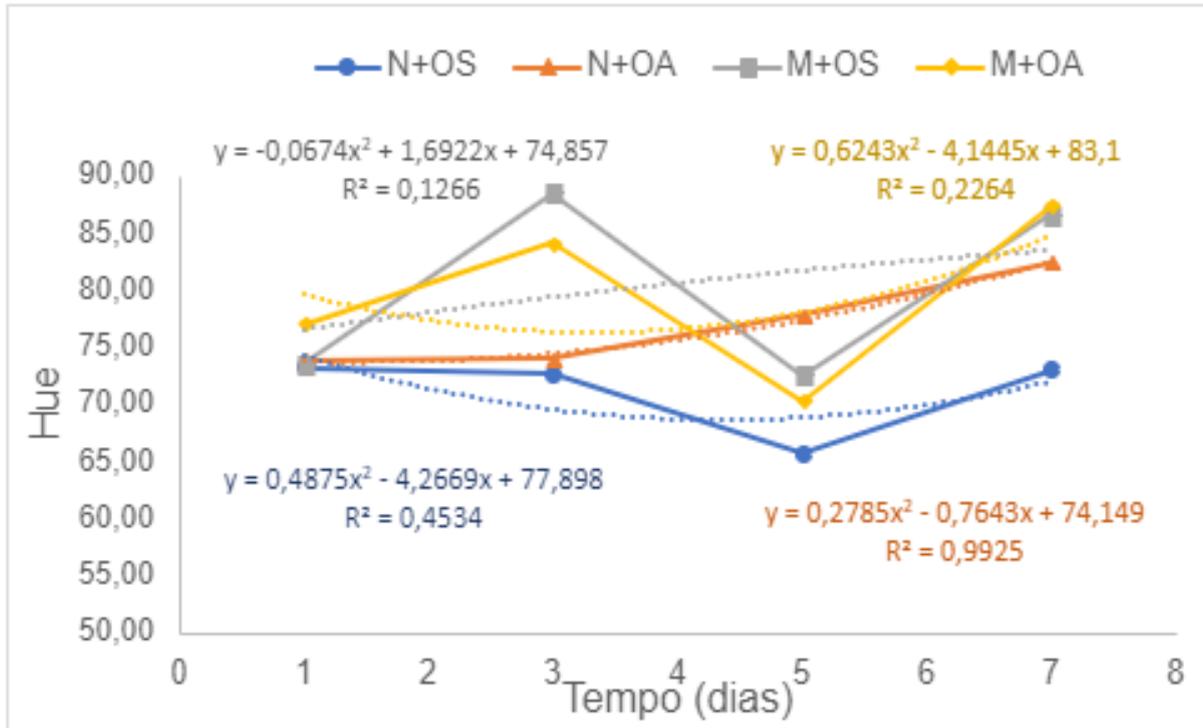


Figura 10 – Hue da crosta dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a  $25\pm 1$  °C.

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate.

Com relação ao miolo dos bolos, as Figuras 11, 12 e 13 mostram, a partir da regressão polinomial, o comportamento dos parâmetros de cor dos bolos isentos de glúten durante o período de armazenamento. O miolo não fica tão exposto às altas temperaturas da cocção, portanto, fica menos suscetível à reação de Maillard do que a crosta.

Os dados de luminosidade, as quais eram claras nos bolos isentos de glúten, o croma, intensidade da cor e o hue dos miolos dos bolos, evidenciam que não houve alterações significativas ao longo dos 7 dias de armazenamento em qualquer das amostras. Essa característica, tanto nas condições de crosta quanto de miolo, evidencia parâmetros no dia 7 muito semelhantes ao primeiro dia de estudo da estabilidade, durante os sete dias os bolos apresentaram cor clara, amarelo-alaranjada, sem nenhuma alteração com o passar dos dias, constituindo-se em um bom indicativo para a qualidade do produto. Ressalta-se que, nenhuma das amostras foram adicionadas de estabilizantes e/ou antioxidantes a fim de retardar o efeito de envelhecimento dos bolos, assim mesmo sem esses aditivos as quatro amostras mostraram bons resultados referente a cor.

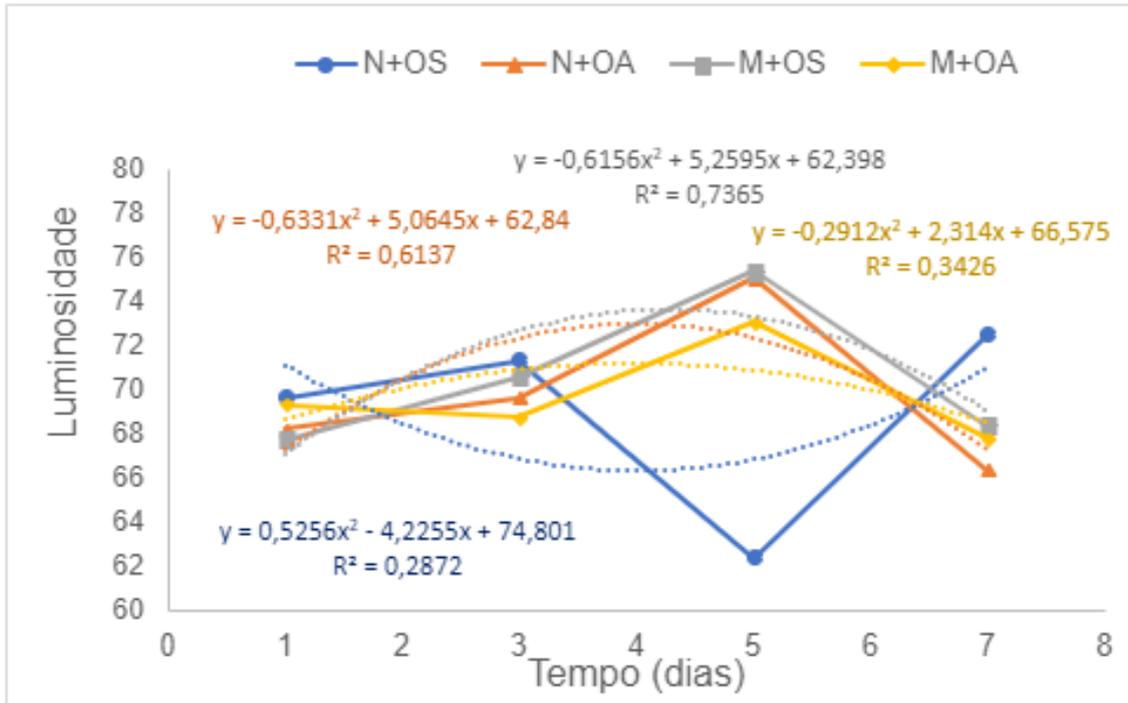


Figura 11 – Luminosidade (L\*) do miolo dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a 25±1 °C.

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate.

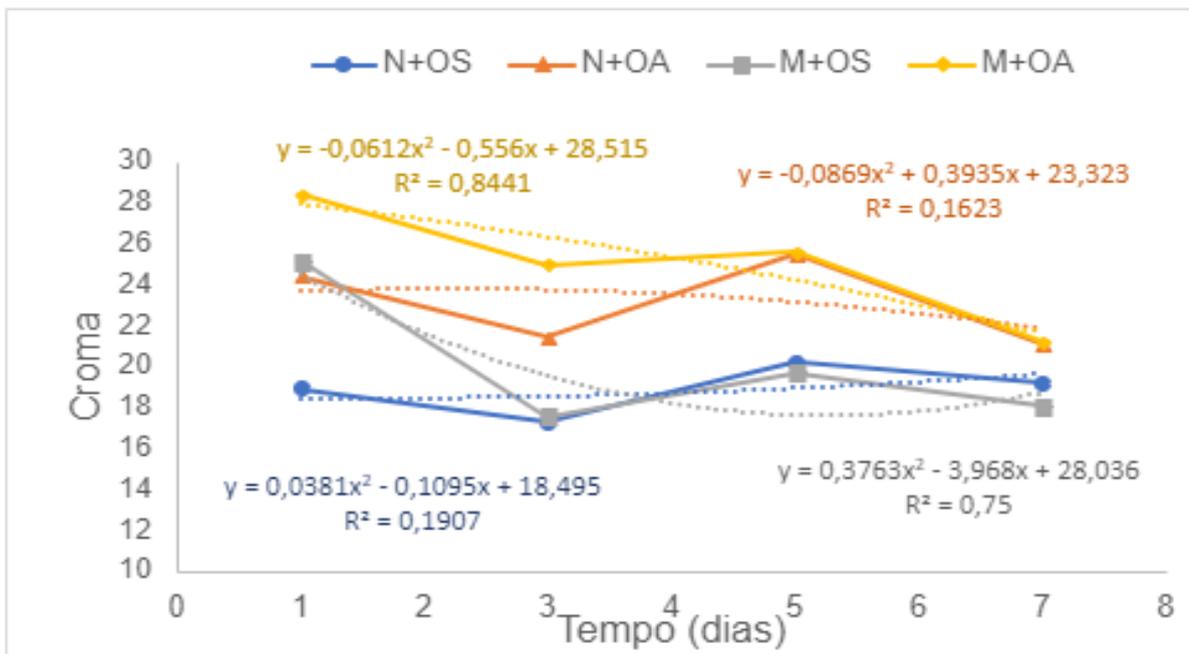


Figura 12 – Cromo do miolo dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a 25±1 °C.

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate.

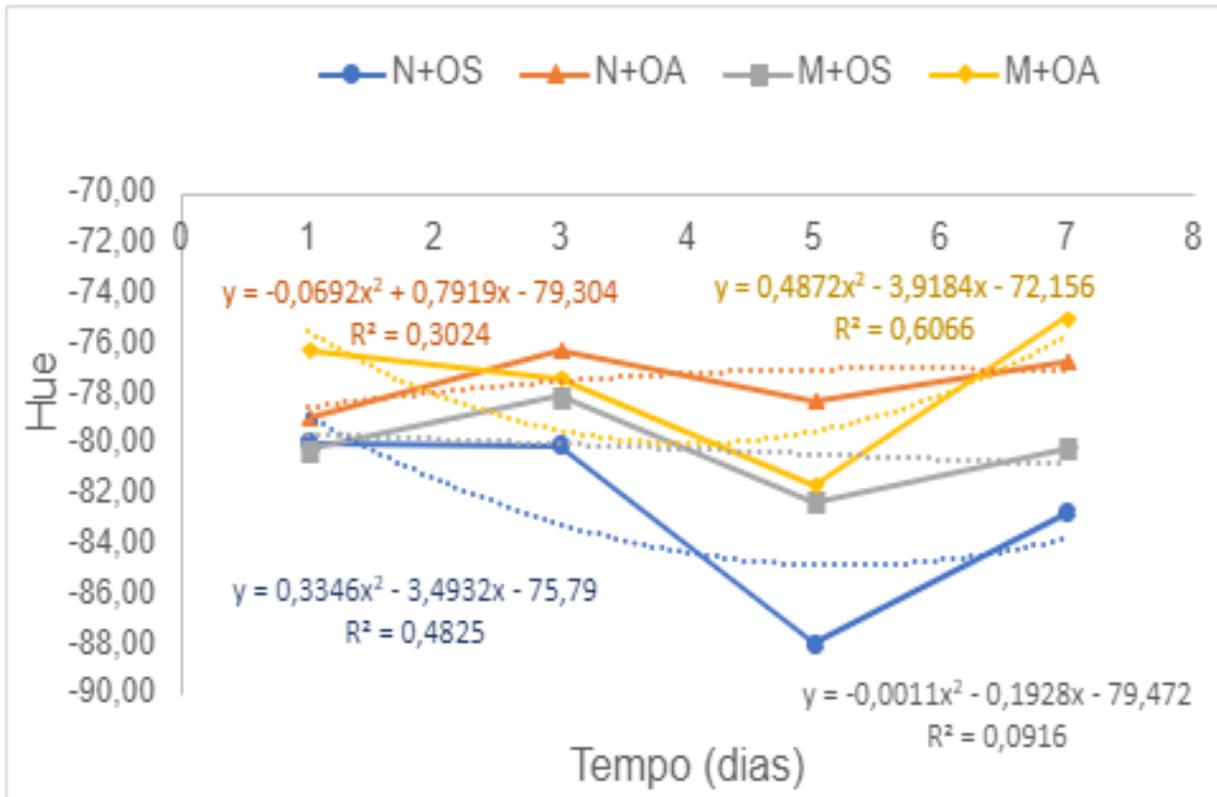


Figura 13 – Hue do miolo dos bolos isentos de glúten ao longo do armazenamento por 7 dias, a  $25 \pm 1$  °C.

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate.

### 3.9.3 Avaliações microbiológicas ao longo do período de armazenamento

A vida útil dos produtos comercializados varia, dependendo da embalagem, da temperatura em que o produto é mantido, da sua umidade e composição, tornando essencial a avaliação desta para cada produto (LEE et al., 2011). Na comercialização dos produtos alimentícios, a embalagem é aplicada para garantir qualidade, segurança e sanidade até o destino final (ENGEL et al., 2019).

A segurança microbiológica dos produtos alimentícios é uma questão primordial, embora também devam ser avaliados em conjunto com outros fatores, como a textura e qualidade sensorial (CHURCH et al., 2000), no Brasil a ANVISA categoriza os produtos alimentícios e preconiza através da IN nº 161 (2022) a segurança microbiológica visando qualidade dos produtos. Para pães, bolos, bolachas e demais produtos de panificação a IN nº 161 preconiza análise de bactérias como também de bolores e leveduras, sendo a aceitável para consumo até  $5 \times 10^2$  UFC/g unidade. A Tabela 14 apresenta os dados da contagem de bolores e leveduras durante os sete dias de armazenamento, com uma temperatura de  $25 \pm 1$  °C em diferentes embalagens, embalagem PVC, embalagem de papel alumínio e embalagem *Zip Lock*.

A literatura relata que o prazo de validade do produto deve ser determinado com base no crescimento microbiano do mesmo (CARLIN et al., 2000.).

Os bolos isentos de glúten apresentaram diferença na contagem de bolores e leveduras no decorrer dos dias de armazenamento, em função das diferenças de composição. Hipóteses para esses achados seriam a diferente quantidade de lipídios empregada entre os bolos com amido nativo e amido modificado, alterando a umidade presente no produto, sem nenhum estabilizante ou inserção de antioxidante para retardar o efeito do envelhecimento (SENANAYAKE et al., 2019).

**Tabela 14.** Quantificação de bolores e leveduras nos bolos isentos de glúten em diferentes embalagens armazenados a  $25\pm 1$  °C.

Análise de bolores e leveduras dia 1			
Amostras	PVC (UFC/g)	Papel alumínio (UFC/g)	Zip Lock (UFC/g)
N+OS	<5	<5	<5
N+OA	<5	<5	<5
M+OS	<5	<5	<5
M+OA	<5	<5	<5
Análise de bolores e leveduras dia 3			
Amostras	PVC (UFC/g)	Papel alumínio (UFC/g)	Zip Lock (UFC/g)
N+OS	1,3 x 10 <sup>3</sup> c	0,2 x 10 <sup>3</sup> a	0,4 x 10 <sup>3</sup> a
N+OA	0,7 x 10 <sup>4</sup> a	1,3 x 10 <sup>3</sup> d	0,6 x 10 <sup>3</sup> c
M+OS	1,4 x 10 <sup>3</sup> d	0,4 x 10 <sup>2</sup> b	0,8 x 10 <sup>4</sup> d
M+OA	0,8 x 10 <sup>3</sup> b	0,7 x 10 <sup>4</sup> c	0,5 x 10 <sup>4</sup> b
Análise de bolores e leveduras dia 5			
Amostras	PVC (UFC/g)	Papel alumínio (UFC/g)	Zip Lock (UFC/g)
N+OS	8,1 x 10 <sup>2</sup> a	1,0 x 10 <sup>3</sup> a	1,0 x 10 <sup>3</sup> a
N+OA	1,00 x 10 <sup>4</sup> a	6,1 x 10 <sup>4</sup> a	3,8 x 10 <sup>3</sup> a
M+OS	6,6 x 10 <sup>4</sup> a	0,8 x 10 <sup>3</sup> b	3,4 x 10 <sup>4</sup> a
M+OA	1,00 x 10 <sup>2</sup> a	6,9 x 10 <sup>4</sup> a	6,0 x 10 <sup>4</sup> b
Análise de bolores e leveduras dia 7			
Amostras	PVC (UFC/g)	Papel alumínio (UFC/g)	Zip Lock (UFC/g)
N+OS	3,58 x 10 <sup>2</sup> a	1,83 x 10 <sup>3</sup> b	1,95 x 10 <sup>4</sup> d
N+OA	3,62 x 10 <sup>3</sup> b	4,00 x 10 <sup>4</sup> c	1,06 x 10 <sup>3</sup> b
M+OS	6,33 x 10 <sup>3</sup> c	1,97 x 10 <sup>3</sup> a	1,00 x 10 <sup>2</sup> a
M+OA	1,000 x 10 <sup>4</sup> d	1,99 x 10 <sup>4</sup> a	1,58 x 10 <sup>4</sup> c

N+OS = amido nativo com óleo de soja; N+OA = amido nativo com óleo de abacate; M+OS = amido modificado com óleo de soja; M+OA = amido modificado com óleo de abacate. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não apresentam diferença estatística significativa ( $p\leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey

Outro fator importante a ser analisado através desses achados é que, independentemente da embalagem aplicada, os bolos apresentaram uma vida útil curta sendo seguros para consumo até o dia 3 da estabilidade. Uma provável justificativa é que

os bolos não são de qualidade industrial, assim não apresentam nenhum conservante na composição.

Observa-se na tabela 14 que todas as amostras de bolos isentos de glúten dentro das três embalagens se mostraram dentro da legislação até o terceiro dia de análise. Ao quinto dia de estudo, os bolos N+OS, N+OA e M+OS mostraram resultados aceitáveis de acordo com a IN nº 161 na embalagem *Zip Lock*, a amostra M+OS também mostrou resultado satisfatório na embalagem de papel alumínio. Uma hipótese para esses achados na embalagem *Zip Lock* seria a maior facilidade em retirar o máximo possível de oxigênio contendo na embalagem, tendo em vista que os demais processos acabavam por sofrer camadas de outro tipo de embalagem (papel alumínio ou PVC) oportunizando maior entrada de oxigênio. Acredita-se que o bolo M+OS apresentou resultado satisfatório também na embalagem de papel alumínio em vista do processo, embora todos os bolos tenham sido feitos ao mesmo tempo, assados, retirados das formas e embalados, o bolo M+OS pode ter sofrido menos contato com o ar ambiente nesse processo sendo a primeira amostra a ser embalada. Outro fato importante como viés nesse estudo é a possível contaminação fúngica pré existente no local no qual os bolos foram assados e embalados.

A não conformidade dos bolos a partir de então, se deu no quinto dia de análise, com exceção das amostras M+OS, N+OS e N+OA nas embalagens papel alumínio e *Zip Lock* respectivamente, com o preconizado na IN nº 161 sendo aceitável para consumo até  $5 \times 10^2$  UFC/g unidade de bolores e leveduras. Ressalta-se que, as amostras estavam visualmente impróprias para consumo quando analisadas, entretanto a importância da análise, igualmente com as amostras impróprias visualmente para consumo, ressalta a imprescindibilidade da segurança alimentar, como também objetiva elaborar melhorias na embalagem do produto e nas formulações dos bolos isentos de glúten.

O maior tempo de conservação de um produto alimentício é importante para o consumidor e comercialização do mesmo, aumentando o tempo de vida útil desse produto em prateleira, com isso o estudo de Marchetti et al. (2017) mostrou bons resultados ao conservar um bolo de noz-pecã em dois modos diferentes: na temperatura de 10 °C e utilizando embalagem a vácuo e na temperatura de 20 °C, também com a utilização de embalagem a vácuo, em até 120 dias, porém o estudo não mencionou os ingredientes do bolo de noz-pecã.

Os bolos isentos de glúten deste estudo foram submetidos a três diferentes embalagens, nenhuma delas sob vácuo. Uma possibilidade para ampliar a durabilidade

dos produtos desenvolvidos seria testar embalagens a vácuo, e/ou a adição de conservantes.

### **Conclusão**

O amido modificado complexado com óleo de abacate apresenta menor poder de inchamento e menor capacidade de absorção de água em relação ao amido nativo. Ao ser utilizado em um bolo, em conjunto da adição de óleo de abacate, como material lipídico, resulta em menor valor em carboidratos (64,714%), quando comparado ao produto feito com amido nativo, e maior valor lipídico (12,657%). O bolo com amido modificado e óleo de abacate (M+OA) apresenta boas características de alveolação e textura, fatores que favorecem a maciez, além de apresentar uma coloração amarelo-laranja com maior intensidade que o bolo com o amido nativo. Esta formulação (M+OA) também foi a que teve maior aceitação sensorial e a que apresentou menor digestibilidade *in vitro* devido a formação do amido resistente e inserção de óleo não refinado. Na determinação de antioxidantes pelos métodos de DPPH e ABTS não apresentou resultados melhores que os bolos feitos com óleo de soja, entretanto, no global apresentou boas características no estudo de estabilidade ao longo do armazenamento de sete dias em temperatura ambiente ( $25\pm 1$  °C). A avaliação das diferentes embalagens (PVC, papel alumínio e *Zip Lock*), não evidenciou clara vantagem para qualquer delas. Como as formulações não continham conservante, a vida útil foi restrita. O estudo demonstrou ser favorável o uso de amido modificado complexado com óleo de abacate e a adição de óleo de abacate como ingrediente lipídico em bolos, prosperando com opções para o setor alimentício com referência a produção de alimentos isentos de glúten.

## Referências

ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) n° 263 de 22 de setembro de 2005. [Ministério da Saúde \(saude.gov.br\)](http://www.saude.gov.br) Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0263\\_22\\_09\\_2005.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0263_22_09_2005.html) Acesso em 25/01/23

ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) n° 54 de 12 de novembro de 2018. [Ministério da Saúde \(saude.gov.br\)](http://www.saude.gov.br). Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2012/rdc0054\\_12\\_11\\_2012.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2012/rdc0054_12_11_2012.html) Acesso em 25/01/23

ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Instrução Normativa (IN) n° 126 de 6 de julho de 2022 [Ministério da Saúde \(saude.gov.br\)](http://www.saude.gov.br). Disponível em: [http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/IN\\_161\\_2022\\_.pdf/b08d70cb-add6-47e3-a5d3-fa317c2d54b2](http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/IN_161_2022_.pdf/b08d70cb-add6-47e3-a5d3-fa317c2d54b2) Acesso em 03/02/23

ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Principais mudanças e modelos, rotulagem nutricional. [Principais mudanças e modelos — Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa \(www.gov.br\)](http://www.saude.gov.br). Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/alimentos/rotulagem/principais-mudancas-e-modelos> Acesso em 25/01/23.

ABIP. Associação Brasileira de Indústrias de Panificação e Padaria. Indicadores da Panificação e Confeitaria Brasileira. 2020. Disponível em: <https://www.abip.org.br/site/wp-content/uploads/2021/01/Indicadores2020-abip.pdf> Acesso em 30/01/2023

AYVAZ, H.; KORKMAZ, F.; POLAT, H.; AYVAZ, Z.; TUNCEL, N.B. Detection of einkorn flour adulteration in flour and bread samples using Computer-Based Image Analysis and Near-Infrared Spectroscopy. **Food Control**, v. 127, p. 108162, 2021

BAJAJ, R.; SINGH, N.; KAUR, A. Effect of native and gelatinized starches from various sources on sponge cake making characteristics of wheat flour. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, p. 1046-1055, 2019.

BECKER, Antje; HILL, Sandra E.; MITCHELL, John R. Relevance of amylose-lipid complexes to the behaviour of thermally processed starches. **Starch-Stärke**, v. 53, n. 3-4, p. 121-130, 2001.

BELORIO, Mayara; SAHAGÚN, Marta; GÓMEZ, Manuel. Psyllium as a fat replacer in layer cakes: Batter characteristics and cake quality. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, p. 2085-2092, 2019

BERG, T.;SINGH, J.; HARDACRE, A.; BOLAND, M.J. The role of cotyledon cell structure during in vitro digestion of starch in navy beans. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 2, p. 1678-1688, 2012.

BIAN, L.; CHUNG, H. Molecular structure and physicochemical properties of starch isolated from hydrothermally treated brown flour. **Food Hydrocolloid**. 60: 345–352 2016.

BIRT, D.F. et al. Resistant starch: promise for improving human health. **Advances in nutrition**, v. 4, n. 6, p. 587-601, 2013.

BOARIM, D.S.F. Non-celiac gluten sensitivity. **International Journal of Nutrology**, v. 11, n. 3, p. 197-202, 2018.

CAI, J.; MAN, J.; HUANG, J.; LIU, Q.; WEI, W.; WEI, C. Relationship between structure and functional properties of normal rice starches with different amylose contents. **Carbohydrate Polymers**, v. 125, p. 35-44, 2015.

CARLIN, Frédéric et al. Spore-forming bacteria in commercial cooked, pasteurised and chilled vegetable purees. **Food Microbiology**, v. 17, n. 2, p. 153-165, 2000.

CHAO, C.; CAI, J.; YU, J.; COPELAND, L.; WANG, S.; WANG, S. Toward a better understanding of starch–monoglyceride–protein interactions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 50, p. 13253–13259, 2018.

CHURCH, Ivor J.; PARSONS, Anthony L. The sensory quality of chicken and potato products prepared using cook–chill and sous vide methods. **International journal of food science & technology**, v. 35, n. 2, p. 155-162, 2000.

COLUSSI, R., KAUR, L., ZAVAREZE, E.R., DIAS, A.R.G., STEWART, R.B., SINGH, J. High pressure processing and retrogradation of potato starch: Influence on functional properties and gastro-small intestinal digestion in vitro. **Food Hydrocolloids**, v. 75, p. 131-137, 2018.

COSTA, R.T.R.V.; NASCIMENTO, A.M.; ARAÚJO, A.S.; NETO, J.C.S.; DANTAS, C.O. Petit Gateau com recheio de banana com e sem casca. **Revista Verde (Pombal-PB-Brasil)** v.10, n.2, p. 15-20, abr-jun, 2015

DARTOIS, A.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, H. Influence of guar gum on the in vitro starch digestibility - rheological and microstructural characteristics. **Food Biophysics**, v. 5, n. 3, p. 149–160, 2010.

DE LA HERA, E.; MARTINEZ, M.; GÓMEZ, M. Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice cakes. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 2280-2288, 2013.

DE LA HERA, Esther; ROSELL, Cristina M.; GOMEZ, Manuel. Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. **Food chemistry**, v. 151, p. 526-531, 2014.

DHEN, N.; ROMÁN, L.; REJEB, I.; MARTÍNEZ, M.; GAROGOURI, M.; GÓMEZ, M. Particle size distribution of soy flour affecting the quality of enriched gluten-free cakes. **Food Science and Technology**, v. 66, p. 179-185, 2016.

DÍAZ-RAMÍREZ, M.; CALDERÓN, G.; GARCÍA, M.; JIMÉNEZ, J.; VILLANUEVA, A.; DE LA PAZ, M.; RAMÍRES, E. Effect of whey protein isolate addition on physical, structural and sensory properties of sponge cake. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 633-639, 2016.

DOWNES, F.D.; ITO, K. Compendium of methods for the examination of foods. 4.ed. Washington: **American Public Health Association (APHA)**, 2001.

DUTCOSKY, S. D. 2013. **Análise Sensorial de Alimentos**. 4. ed. Champagnat, Curitiba.

ENGEL, Juliana Both; LUCHESE, Claudia Leites; TESSARO, Isabel Cristina. Making the reuse of agro-industrial wastes a reality for starch-based packaging sector: A storage case study of carrot cake and cherry tomatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 206, p. 740-749, 2022.; KALPANA, S. et al. Intelligent packaging: Trends and applications in food systems. **Trends in Food Science & Technology**, v. 93, p. 145-157, 2019.

FALADE, Kolawole O.; CHRISTOPHER, Akinpelu S. Physical, functional, pasting and thermal properties of flours and starches of six Nigerian rice cultivars. **Food Hydrocolloids**, v. 44, p. 478-490, 2015.

FATHI, B.; AALAMI, M.; KASHANINEJAD, M.; SADEGHI, A. Utilization of heat-moisture treated proso millet flour in production of gluten-free pound cake. **Journal of Food Quality**, v. 39, n. 6, p. 611-619, 2016.

FERNG, L.; LIOU, C.; YEH, R.; CHEN S. Physicochemical property and glycemic response of chiffon cakes with different rice flours. **Food Hydrocolloid**. 53: 172–179 2016.

FRASSON, Sabrina Feksa. **Modificação de amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade adicionado de óleo de abacate: processo via autoclave versus micro-ondas**. 2022. 126 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição e Alimentos) –Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2022.

FONSECA, L. M.; HALAL, S. L. M.; DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. R. Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. **Carbohydrate Polymers**, 274(September), 118665. 2021

FORD, A. W.; DAWSON, P. J. Effect of type of container, storage temperature and humidity on the biological activity of freeze-dried alkaline phosphatase. **Biologicals**, v. 22, n. 2, p. 191-197, 1994.

GAO, J.; CHAIYA, M.; BASURAWAN, B.; BRENNAN, C.; PRINYAWIWATKUL, S. Gluten-free bakery and pasta products: prevalence and quality improvement. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 53, n.1, p. 19-32, 2018.

GAYA, L. G.; FERRAZ, J.B.S., Aspectos genético-quantitativos da qualidade da carne em frangos. **Ciência Rural**, 36(1), 439-356. 2006

GULARTE, M. A.; DE LA HERA, E.; GOMEZ, M., ROSELL C. M. Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. **LWT Food Science and Technology**, 48(2), 209–214, 2012

GUO, Q.; YE, A.; BELLISSIMO, N.; SINGH, H.; ROSSEAU, D. Modulating fat digestion through food structure design. **Progress in Lipid Research**, v. 68, p. 109-118, 2017.

GOMES, W.; PIRES, J.; TEIXEIRA, N.; BORTOLETO, G.; GUTIERREZ, E.; MELCHERT, W. Effects of green coffee bean flour fortification on the chemical and nutritional properties of gluten-free cake. **Journal of Food Measurement and Characterization**, p. 1-8, 2022.

GORANOVA, Z.; MARUDOVA, M.; BAEVA, M. Influence of functional ingredients on starch gelatinization in sponge cake batter. **Food chemistry**, v. 297, p. 124997, 2019.

HACKENBERG, S.; VERHEYEN, C.; JEKLE, M.; BECKER, T. Effect of mechanically modified wheat flour on dough fermentation properties and bread quality. **European Food Research and Technology**, v. 243, p. 287-296, 2017.

KANG, X.; JIA, S.; GAO, W.; WANG, B.; ZHANG, X.; TIAN, Y.; SUN, Q.; ATEF, M.; CUI, B.; EL-ATY, A.M.A. The formation of starch-lipid complexes by microwave heating. **Food Chemistry**, v. 382, p. 132319, 2022.

KARAOGLU, M.M.; KOTANCILAR, H.G. Quality and textural behaviour of par-baked and rebaked cake during prolonged storage. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 44, n. 1, p. 93-99, 2009.

KAUR, M.; SANDHU, K.S.; LIM, S.T. Microstructure, physicochemical properties and in vitro digestibility of starches from different Indian lentil (*Lens culinaris*, Carbohydrate Polymers) cultivars. **Barking**, v. 79, n. 2, p. 349-355, 2010.

KIM, M.J.; OH, S.G.; CHUNG, H.J. Impact of heat-moisture treatment applied to brown rice flour on the quality and digestibility characteristics of Korean rice cake. **Food Science and Biotechnology**, v. 26, p. 1579-1586, 2017.

LEE, Kyung-A.; KIM, Kee-Tae; PAIK, Hyun-Dong. Physicochemical, microbial, and sensory evaluation of cook-chilled Korean traditional rice cake (Backseolgi) during storage via various packaging methods. **Food Science and Biotechnology**, v. 20, p. 1069-1074, 2011.

KIRSI, M.; JARVINEN-SEPPO, M.D.; Alergia a grãos: Alergênicos e classificação de grãos. **International Journal of Nutrology**, v. 12, n. 1, p. 13-17, 2022.

LI, Changyong; JIN, Yan. Digestion of meat proteins in a human-stomach: A CFD simulation study. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 83, p. 103252, 2023.

KORKMAZ, F.; TUNCEL, N.B.; TOK, O. The effects of accelerated storage on quality of cake prepared using hydrothermally infrared treated flours. **Journal of Stored Products Research**, v. 103, p. 102132, 2023.

LIU, Q.; WANG, Y.; YANG, Y.; YU, X.; XU, L.; JIAN, A.; JIN, Z. Structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of extruded starch-lauric acid complexes with different amylose contents. **Food Hydrocolloids**, v. 136, p. 108239, 2023.

LUNA, P. Impact of Ingredients on Quality and Shelf Life of Gluten-Free Baked Brownies. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, p. 012040, 2022.

LAWAL, O. S.; ADEBOWALE, K. O. Effect of acetylation and succinylation on solubility profile, water absorption capacity, oil absorption capacity and emulsifying properties of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) protein concentrate. **Food/Nahrung**, v. 48, n. 2, p. 129-136, 2004.

MACHADO, N.; MARQUES, R.M.P.; SILVA, S.Z.; BERNARDI, D.M. Pesquisa de consumo sobre produtos de panificação e desenvolvimento, caracterização físico-química e análise sensorial de bolo funcional de chocolate. **Fag Journal of Health**, 1:10–23, 2019.

MAIA, S.M.P.C.; PONTES, D.F.; GARRUTI, D.S.; OLIVEIRA, M.N.; ARCANJO, S.R.S.; CHINELATE, G.C.B. Farinha de maracujá na elaboração de bolo de milho. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. 13: 328–336, 2018

MARCELLA, M.; MARIPIA, I.; VALENTINA, C.; GRAZIA, S.; MATTEO, N. Effect of the inulin addition on the properties of gluten free pasta. **Food and Nutrition Sciences**, v. 3, n. 1, p. 22–27, 2012.

MARCHETTI, L.; ROMERO, L.M.; ANDRES, S.C.; CALIFANI, A.N. Characterization of pecan nut expeller cake and effect of storage on its microbiological and oxidative quality. **Instituto de la Grasa; Grasas y Aceites**; v. 68; n. 4; p. 1-10, 2017.

MARSTON, K.; KHOURYIEH, H.; ARAMOUNI, F. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. **LWT-Food Science and Technology**, v. 65, p. 637-644, 2016.

MILLER, J. B.; PANG, E.; BRAMALL, L. Rice: a high or low glycemic index food?. **The American journal of clinical nutrition**, v. 56, n. 6, p. 1034-1036, 1992.

MONTAGNER, G. E.; STORCK, C. R. Sensory analysis and the composition of gluten-free 195 cakes with phosphate sorghum flour. **Disciplinarum Scientia Saúde**, v.20, n.2, p.497-504, 196 2019.

MATEJTSCHUK, P.; RAFIK, S.; JHONES, S.; DAS, R.G. A comparison of vials with ampoules for the storage of biological reference materials. **Biologicals**, v. 33, n. 2, p. 63-70, 2005.

NAKAGAWA, K.; KAMISAKI, H.; SUZUKI, T.; SANO, N. Model-based prediction of the moisture sorption kinetics and humidity-induced collapse for freeze-dried cakes. **Chemical Engineering Science**, v. 248, p. 117129, 2022.

NAVARRO, E.; ARAYA, M. Sensibilidad no celíaca al gluten: Una patología más que responde al gluten. **Revista Medica de Chile**, v. 143, n. 5, p. 619-626, 2015.

NHOUCHI, Z.; BOTOSOA, E.P.; CHENE, C.; KAROUI, R. Impact of storage period and lipid unsaturation on the kinetic of 5-hydroxymethylfurfural and furfural generation in pound cakes. **Food Chemistry**, v. 402, p. 134368, 2023.

OKUMUS, B.N.; TACER-CABA, Z.; KAHRAMAN, K.; ERDIL, D.N. Resistant starch type V formation in brown lentil (*Lens culinaris* Medikus) starch with different lipids/fatty acids. **Food chemistry**, v. 240, p. 550-558, 2018.

PURLIS, E. Browning development in bakery products—a review. **Journal of Food Engineering**, 99(3), 239–2, 2010.

RAMOS, D.P.; LEONEL, M.; LEONEL, S. Resistant starch in green banana flour. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 3, 2009.

RICHARDSON, A.M.; TYUFTIN, A.A.; KILCAWLEY, K.N.; GALLAGHER, E.; O’SULLIVAN, M.G.; KERRY, J.P. The application of pureed butter beans and a combination of inulin and rebaudioside a for the replacement of fat and sucrose in sponge cake: Sensory and physicochemical analysis. **Foods**, v. 10, n. 2, p. 254, 2021.

RICARTE, D.; DE ALMEIDA J. B. L.; ZOCATELI, G. A. F.; BARRETO, R. L. F.; 228 GUIMARÃES, M.; DE SOUZA FERREIRA, R.; GUIMARÃES, N. S. Análise sensorial de 229 preparações com batata yacon: revisão sistemática. **HU Revista**, v. 45, n.4, p.431-440, 2019. <https://doi.org/10.34019/1982-8047.2019.v45.28419>

SAHAGÚN, M.; BRANO-NÚÑEZ, Á.; BÁSCONES, G.; GÓMEZ, M. Influence of protein source on the characteristics of gluten-free layer cakes. **Lwt** v. 94, p. 50-56, 2018.

SANTOS, Rui C. O valor energético dos alimentos: exemplo de uma determinação experimental, usando calorimetria de combustão. **Quimica nova**, v. 33, p. 220-224, 2010.

SENANAYAKE, C.M.; ALGAMA, C.H.; WIMALASEKARA, R.L.; WEERAKOON, W.M.N.T.D.N.; JAYATHILAKA, N.; SENEVIRATNE, K.N. Improvement of oxidative stability and microbial shelf life of vanilla cake by coconut oil meal and sesame oil meal phenolic extracts. **Journal of Food Quality**, v. 2019, p. 1-8, 2019.

SHIH, F. F.; DAIGLE, K. W.; CLAWSON, E. L. Development of low oil-uptake donuts. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 1, p. 141-144, 2001.

SILVA, M. I. G.; DE ALMEIDA, G. S. C. F.; GUIMARÃES, L. J.; ALVES, A. L. G. P., SOARES, I. S. F.; ALVES, M. Z. Q.; LENQUISTE, S. A.. Nutritional composition and antioxidant potential of Chaya leaves (*Cnidoscolus aconitifolius*) in different cooking methods. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, 2022.

SINGH, Jaspreet; DARTOIS, Anne; KAUR, Lovedeep. Starch digestibility in food matrix: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 4, p. 168-180, 2010

SIMI, C.K.; ABRAHAM, T.E. Physicochemical rheological and thermal properties of Njavara rice (*Oryza sativa*) starch. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 56, n. 24, p. 12105-12113, 2008.

SKENDI, A.; PAPAGEORGIOU, M.; VARZAKAS, T. High Protein Substitutes for Gluten in Gluten-Free Bread. **Foods**, v. 10, n. 9, p. 1997, 2021.

STAUFFER, Clyde E. Functional additives for bakery foods. **Springer Science & Business Media**, 1990.

SUCUPIRA, N. R.; DA SILVA, A. B.; PEREIRA, G.; DA COSTA, J. N.. Methods for Measuring Antioxidant Activity of Fruits. **Journal of Health Sciences**, v. 14, n. 4, 2012.

TASIGUANO, B. L.; VILAREAL, C.; SCHIMELE, M.; VERNAZA, M. G. Efecto del tiempo de Cocción del Zapallo (*Cucurbita maxima*) y la adición de Glucosa Oxidasa en el

Aumento de Almidón Resistente del Pan de Molde. **Información Tecnológica**, 30(3), 167–178, 2019.

TANGO, J.S. et al. Physical and chemical characterization of avocado fruits aiming its potencial for oil extraction. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.1, p.17-23, 2004.

TURUB, E.; GULUM, S.; & SAHIN, S. Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. **Food Hydrocolloids** ,24,755–762, 2010.

TIWARI, U.; MANDAL, R.; NEUPANE, K.R.; MISHRA, B.; JHA, R. Starchy and fibrous feedstuffs differ in their in vitro digestibility and fermentation characteristics and differently modulate gut microbiota of swine. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2022.

VAN DER SMAN, R. G. M.; MAUER, Lisa J. Starch gelatinization temperature in sugar and polyol solutions explained by hydrogen bond density. **Food hydrocolloids**, v. 94, p. 371-380, 2019.

VAN DER SMAN, R. G.; HOULDER, S.; CORNET, S.; JANSSEN. Physical chemistry of gastric digestion of proteins gels. **Current research in food science**, v. 2, p. 45-60, 2020.

VELDERRAIN-RODRÍGUEZ, Gustavo R. et al. Interfacial activity of phenolic-rich extracts from avocado fruit waste: Influence on the colloidal and oxidative stability of emulsions and nanoemulsions. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 69, p. 102665, 2021.

XU, J.; ZHANG, Y.; WANG, W.; LI, Y. Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 103, p. 200-213, 2020.

YILDIZ, E.; GUNER, S.; SUMNU, G.; SAHIN, S.; OZTOP, M.H. Monitoring the effects of ingredients and baking methods on quality of gluten-free cakes by time-domain (TD) NMR relaxometry. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, p. 1923-1933, 2018.

WANG, Lingling et al. Structure and properties of soft rice starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 157, p. 10-16, 2020.

WU, M.; WANG, J.; GE, Q.; YU, H.; XIONG Y. Rheology and microstructure of myofibrillar protein–starch composite gels: Comparison of native and modified starches. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 118, p. 988-996, 2018.

ZHANG, Qianyu et al. Structural and functional characterization of rice starch-based superabsorbent polymer materials. **International journal of biological macromolecules**, v. 153, p. 1291-1298, 2020.

ZHENG, M. Z.; XIAO, Y.; YANG, S.; LIU, H.; LIU, M.; YAQOOB, S.; XU, X.; LIU, J. S. Effects of heat–moisture, autoclaving, and microwave treatments on physicochemical properties of proso millet starch. **Food Science and Nutrition**, 8(2), 735–743. 2020

ZHU, L.J.; LIU, Q.Q.; WILSON, J.D.; GU, M.H.; SHI, Y.C. Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 4, p. 1751-1759, 2011.