



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



DANIELLE OLIVEIRA BORGES

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE MISTURAS DE AÇÚCAR E XILITOL COM
COMPOSTOS CARREADORES NA PERCEPÇÃO E ACEITAÇÃO SENSORIAL DO
GOSTO DOCE

Uberlândia–MG

2025

DANIELLE OLIVEIRA BORGES

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE MISTURAS DE AÇÚCAR E XILITOL COM
COMPOSTOS CARREADORES NA PERCEPÇÃO E ACEITAÇÃO SENSORIAL DO
GOSTO DOCE

Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de doutora em engenharia química.

Orientadora: Dra. Miriam Maria de Resende
Coorientador: Dr. Eloízio Júlio Ribeiro

Uberlândia–MG

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

B732
2025

Borges, Danielle Oliveira, 1988-
Formulações adoçantes à base de açúcar e xilitol com
compostos carreadores para potencialização de gosto doce.
[recurso eletrônico] / Danielle Oliveira Borges. - 2025.

Orientadora: Miriam Maria de Resende.

Coorientador: Eloízio Júlio Ribeiro.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-
graduação em Engenharia Química.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2025.392>

Inclui bibliografia.

1. Engenharia química. I. Resende, Miriam Maria de, 1971-,
(Orient.). II. Ribeiro, Eloízio Júlio, 1952-, (Coorient.). III.
Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em
Engenharia Química. IV. Título.

CDU: 66.0

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K, Sala 206 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG,
CEP 38400-902

Telefone: (34)3239-4249 - www.ppgeq.feq.ufu.br - secppgeq@feq.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-graduação em:	Engenharia Química				
Defesa de:	Tese de Doutorado, 12/2025, PPGEQ				
Data:	5 de agosto de 2025	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	17:30
Matrícula da Discente:	12113EQU001				
Nome da Discente:	Danielle Oliveira Borges				
Título do Trabalho:	Avaliação da influência de misturas de açúcar e xilitol com compostos carreadores na percepção e aceitação sensorial do gosto doce				
Área de concentração:	Desenvolvimento de Processos Químicos				
Linha de pesquisa:	Processos de Separação				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Coleta e seleção de cepas e estudo da produção, purificação e utilização de enzimas e bioprodutos em processos industriais				
ODS-ONU:	ODS 3 - Saúde e Bem-estar e ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis				

Reuniu-se por meio de webconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, assim composta: Professores Doutores: Ana Carolina Conti - IBILCE/UNESP, Pedro Henrique Ferreira Tomé - IFTM/*Campus* Uberlândia, Vivian Consuelo Reolon Schmidt - FAMED/UFU, Michelle Andriati Sentanin - FEQUI/UFU, Eloízio Júlio Ribeiro - FEQUI/UFU, coordenador, e Miriam Maria de Resende - PPGEQ/UFU, orientadora da candidata.

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Prof^a Dr^a Miriam Maria de Resende, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir, a presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final considerando a candidata:

Aprovada

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação

interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Vivian Consuelo Reolon Schmidt, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/08/2025, às 17:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Michelle Andriati Sentanin, Membro de Comissão**, em 05/08/2025, às 17:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Miriam Maria de Resende, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/08/2025, às 17:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eloizio Julio Ribeiro, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/08/2025, às 17:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Carolina Conti, Usuário Externo**, em 05/08/2025, às 18:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Henrique Ferreira Tomé, Usuário Externo**, em 08/08/2025, às 11:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6546208** e o código CRC **D9C68A33**.

À minha avó Jerônima Ferreira de Oliveira, cujo amor e imensa fé em Deus me moldaram e sempre me impulsionaram a buscar meus sonhos. Sua presença em minha vida foi e sempre será uma bênção. Obrigada por tudo.
(in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à Professora Miriam Maria de Resende, por sua orientação, pela enorme paciência e pela confiança depositada em mim durante esses anos. Sei que esse processo nem sempre fácil e sua maneira sempre respeitosa e amigável de lidar com as intempéries deste trabalho me fizeram reconhecer sua grandeza como pessoa e profissional da educação. Agradeço também ao Professor Eloízio por suas valiosas contribuições e apoio ao longo desta jornada.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química por todo o suporte acadêmico e pela oportunidade de desenvolver este trabalho em um ambiente de excelência.

Agradeço aos membros da banca examinadora, Professoras Ana Carolina Conti, Michelle Andriati Sentanin, Vivian Consuelo Reolon Schmidt e ao professor Pedro Henrique Ferreira Tomé por terem aceitado avaliar este trabalho e contribuir para sua melhoria com correções e comentários que enriqueceram significativamente esta tese. Obrigada por dividir o conhecimento de vocês conosco!

À Isabella da Silva Souza, aluna de Iniciação Científica que tanto me ajudou no preparo das amostras e no treinamento dos avaliadores. E também à toda equipe de avaliadores que dedicaram seu tempo a este trabalho com carinho e responsabilidade, muito obrigada.

Enfim, à minha esposa Sabrina Andrade Rocha, que me deu muito mais do que jamais poderia imaginar. Com você eu descobri o que é o amor e dedicação a outra pessoa. Por sua sempre inabalável crença em mim mesmo quando nem eu acreditava, eu sou eternamente grata. Te amo!

"Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou o teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça."

Isaías 41:10

RESUMO

O elevado consumo de açúcar preocupa a saúde pública e desafia a indústria alimentícia, especialmente diante do paladar brasileiro habituado a gostos muito doces. Para contornar essa dificuldade, vêm sendo desenvolvidas formulações com açúcares de maior poder adoçante, que permitem reduzir a sacarose sem comprometer o sabor. Neste estudo, foram desenvolvidas misturas adoçantes à base de sacarose ou xilitol combinadas com sílica precipitada (SP) ou celulose microcristalina (CMC), utilizando técnicas de moagem individual e co-moagem, visando potencializar a percepção de doçura em alimentos. As misturas foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e aplicadas em pasta de amendoim como matriz alimentícia. As amostras foram avaliadas sensorialmente por um painel de 15 julgadores treinados. O perfil sensorial das amostras foi obtido utilizando escala linear não estruturada de 9 cm. Posteriormente, foi conduzido um teste de aceitação com 77 consumidores, que avaliaram seis formulações selecionadas de pasta de amendoim adoçada, utilizando uma escala hedônica estruturada de 9 pontos. Os dados sensoriais foram analisados por ANOVA fator duplo e teste de Tukey, e correlacionados por análise de componentes principais (PCA). A microscopia eletrônica revelou alterações morfológicas nas partículas, com aumento de irregularidade e possível formação de zonas amorfas, associadas à maior taxa de dissolução e liberação de compostos adoçantes. Os resultados demonstraram que a co-moagem de sacarose e xilitol com sílica precipitada (SP) ou celulose microcristalina (CMC) modificou significativamente a percepção sensorial do gosto doce. A análise sensorial descritiva mostrou que as amostras de adoçante em pó puros sacarose e xilitol apresentaram maior persistência da doçura, enquanto a co-moagem reduziu esse atributo ao acelerar a dissolução dos adoçantes. Em contrapartida, a intensidade do gosto doce foi potencializada nas formulações co-moídas, evidenciando o papel do processamento na percepção sensorial. Quanto às amostras de pasta de amendoim adoçadas com as misturas propostas, a análise descritiva com avaliadores treinados evidenciou que a matriz lipídico-proteica da pasta de amendoim exerceu um papel modulador relevante sobre o perfil de doçura, os resultados mostraram que a co-moagem é eficaz para aumentar a intensidade de doçura, porém apresenta efeito inverso na persistência, principalmente quando associada ao xilitol e sílica, reforçando que o impacto do processamento depende fortemente da interação entre adoçante, carreador e matriz alimentar. Na análise de aceitação sensorial das pastas de amendoim feita com consumidores, a sacarose proporcionou maior intensidade imediata de doçura e melhor

textura percebida, enquanto o xilitol se destacou pela maior persistência da doçura, embora com impacto negativo da adição de carreadores na textura. De forma geral, a co-moagem mostrou-se capaz de intensificar a percepção de doçura e prolongar a persistência, mas com efeitos distintos dependendo do tipo de adoçante e da interação com a matriz lipídica. A Análise de Componentes Principais (ACP) mostrou que os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) explicaram 70,91% da variância, o biplot evidenciou padrões distintos entre as amostras, com AA e ASco associadas à alta intensidade, XX destacando-se pela melhor textura e persistência, e XSco e XCco relacionadas à menor persistência.

Palavras-chave: Modulação de sabor; Percepção sensorial; Açúcar; Sílica precipitada; Celulose microcristalina

ABSTRACT

High sugar consumption is a public health concern and a challenge for the food industry, especially given the Brazilian palate's accustomed taste for very sweet flavors. To overcome this challenge, formulations with sugars with greater sweetening power have been developed, allowing for a reduction in sucrose content without compromising flavor. In this study, sweetener blends based on sucrose or xylitol combined with precipitated silica (SP) or microcrystalline cellulose (MCC) were developed using individual and co-milling techniques, aiming to enhance the perception of sweetness in foods. The blends were characterized by scanning electron microscopy (SEM) and applied to peanut butter as a food matrix. The samples were sensorially evaluated by a panel of 15 trained panelists. The sensory profile of the samples was obtained using an unstructured 9 cm linear scale. Subsequently, an acceptance test was conducted with 77 consumers, who evaluated six selected sweetened peanut butter formulations using a structured 9-point hedonic scale. Sensory data were analyzed by two-way ANOVA and Tukey's test, and correlated by principal component analysis (PCA). Electron microscopy revealed morphological changes in the particles, with increased irregularity and possible formation of amorphous zones, associated with a higher rate of dissolution and release of sweetening compounds. The results demonstrated that co-grinding sucrose and xylitol with precipitated silica (SP) or microcrystalline cellulose (CMC) significantly modified the sensory perception of sweet taste. Descriptive sensory analysis showed that the pure sucrose and xylitol powder sweetener samples presented greater sweetness persistence, while co-grinding reduced this attribute by accelerating sweetener dissolution. In contrast, the intensity of the sweet taste was enhanced in the co-ground formulations, highlighting the role of processing in sensory perception. Regarding the peanut butter samples sweetened with the proposed blends, descriptive analysis with trained evaluators showed that the lipid-protein matrix of the peanut butter played a significant modulating role in the sweetness profile. The results showed that co-ground processing is effective in increasing sweetness intensity, but has an opposite effect on persistence, especially when combined with xylitol and silica, reinforcing that the impact of processing depends heavily on the interaction between sweetener, carrier, and food matrix. In the sensory acceptance analysis of the peanut butters conducted with consumers, sucrose provided greater immediate sweetness intensity and better perceived texture, while xylitol stood out for greater sweetness persistence, although the addition of carriers negatively impacted texture. Overall, co-grinding intensified the perception of sweetness and prolonged

persistence, but with different effects depending on the type of sweetener and its interaction with the lipid matrix. Principal Component Analysis (PCA) showed that the first two components (PC1 and PC2) explained 70.91% of the variance. The biplot revealed distinct patterns among the samples, with AA and ASco associated with high intensity, XX standing out for better texture and persistence, and XSco and XCco related to lower persistence.

Keywords: Flavor modulation; Sensory perception; Sugar; Precipitated silica; Microcrystalline cellulose

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	13
2 - OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3.1 SACAROSE: AÇÚCAR DE ADIÇÃO	15
3.2 O CONSUMO DE AÇÚCAR E A INFLUÊNCIA NA SAÚDE DA POPULAÇÃO	18
3.3 A REDUÇÃO DE AÇÚCAR EM PRODUTOS INDUSTRIALIZADOS.....	19
3.4 OS QUIMIORRECEPTORES DE GOSTO DOCE.....	27
3.5 A MODULAÇÃO DO GOSTO DOCE.....	29
3.6 ANÁLISE SENSORIAL	31
4 - MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.1 EMBASAMENTO PARA A ESCOLHA DOS MATERIAIS DA PESQUISA	32
4.2 SELEÇÃO DOS ALIMENTOS PARA APLICAÇÃO DOS COMPOSTOS ADOÇANTES.....	33
4.3 PREPARO DAS COMPOSIÇÕES ADOÇANTES À BASE DE SACAROSE OU XILITOL	34
4.3.3 PREPARO DAS MISTURAS DE ADOÇANTES COM CARREADORES (MÉTODO DE CO-MOAGEM).....	36
4.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	36
4.5 PREPARO DAS AMOSTRAS DE ALIMENTOS PARA ANÁLISE SENSORIAL	37
4.6 ANÁLISE SENSORIAL DESCRITIVA DE GOSTO DOCE DAS MISTURAS ADOÇANTES E PASTA DE AMENDOIM ...	37
4.6.1 Recrutamento e seleção do painel de avaliadores	37
4.6.2 Definição dos atributos de gosto doce	39
4.7 DESCRIÇÃO DO PERFIL DE DOÇURA DAS MISTURAS ADOÇANTES E DA PASTA DE AMENDOIM	42
4.8 ANÁLISE DE ACEITAÇÃO DA PASTA DE AMENDOIM	43
4.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	45
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 ANÁLISE MORFOLÓGICA DAS AMOSTRAS POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	46
5.2 PERFIL SENSORIAL DAS MISTURAS ADOÇANTES.....	52
5.3 PERFIL SENSORIAL DA PASTA DE AMENDOIM	54
5.4 ACEITAÇÃO DO GOSTO DOCE DE PASTA DE AMENDOIM.....	55
5.5 CORRELAÇÃO ENTRE AS ANÁLISES SENSORIAIS DESCRITIVAS E DE ACEITAÇÃO	58
6 - CONCLUSÃO	62
7 - LIMITAÇÕES DO ESTUDO E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
APENDICE A: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	75

APENDICE B: FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL	77
APENDICE C: FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DE AVALIADORES	78
ANEXO A	79

1 - INTRODUÇÃO

Na história da evolução humana, obter energia era o principal motivo para a alimentação, e o gosto doce é mediado por receptores que respondem a açúcares, a maior fonte de energia do metabolismo. Com o passar dos tempos, os seres humanos ficaram “geneticamente programados” para gostar de doce, uma vez que este gosto tem fortes efeitos inconscientes e é, entre os cinco gostos básicos, o mais fortemente relacionado ao prazer. Nosso paladar se adapta aos gostos habitualmente consumidos, desenvolvendo em cada pessoa preferências por diferentes graus de doçura ou salinidade, por exemplo (Heras-Gonzalez et al.,

Para o homem primitivo, consumir livremente qualquer alimento doce que encontrasse, era uma estratégia adequada de sobrevivência, porém, o consumo excessivo de alimentos doces na era moderna ajudou a proliferar uma epidemia de doenças relacionadas ao excesso de peso e de açúcar no organismo (Benton, 2002; Sclafani, 2001).

O consumo de açúcar tem sido associado ao aumento da incidência de doenças crônicas não transmissíveis, como doenças cardiovasculares e diabetes mellitus e diante desse cenário, em 2015, a Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou diretrizes recomendando uma redução na ingestão diária de açúcares livres na dieta para menos de 10% do consumo energético total (World Health Organization, 2015).

Com o objetivo de reduzir esse consumo, em 2017, o Ministério da Saúde do Brasil fez uma série de compromissos SMART (específicos, mensuráveis, alcançáveis, relevantes e vinculados ao tempo) no contexto da Década de Ação sobre Nutrição da Organização das Nações Unidas (ONU), que incluiu a proposta para a redução do consumo excessivo de açúcar pela população brasileira, e foi firmado um acordo de cooperação entre a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos com metas de redução de açúcar até 2022 em bolos processados, mix de bolos, laticínios, chocolate, bebidas açucaradas e produtos assados (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018).

O consumo de açúcares livres pela população brasileira tem apresentado uma tendência de queda na adição direta, mas permanece elevado quando se considera a ingestão por meio de alimentos ultraprocessados. Dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2017–2018 indicam que houve uma redução de 50% na aquisição per capita de açúcar cristal entre 2002–2003 e 2017–2018, passando de 12,162 kg para 6,048 kg/ano (IBGE, 2020a).

Apesar disso, os alimentos ultraprocessados, que são ricos em açúcares adicionados,

representaram 19,7% das calorias disponíveis para consumo nos domicílios (IBGE, 2020b). Essa tendência é mais acentuada entre adolescentes, grupo no qual o consumo desses alimentos corresponde a 27% da ingestão calórica total, enquanto entre idosos esse valor é de 15,1% (IBGE, 2020b).

Contudo, a redução do açúcar em produtos doces é um desafio, pois a intensidade da doçura é essencial para a aceitação de alimentos e bebidas e sua substituição parcial ou total por adoçantes artificiais, ou naturais nem sempre gera uma boa aceitação do consumidor (McKenzie; Lee, 2022).

Este trabalho investiga a aplicação de misturas contendo açúcar ou xilitol combinados com compostos carreadores como celulose microcristalina (CMC) e sílica precipitada (SP), com o objetivo de potencializar a percepção de doçura em alimentos. A principal proposta é desenvolver sistemas estruturados com essas substâncias para manter ou intensificar a sensação de sabor doce com menor quantidade de sacarose ou adoçante, contribuindo para produtos com menor teor de açúcar.

As principais finalidades do estudo são de ordem tecnológica, como criar uma alternativa inovadora para reduzir o uso de açúcares simples em alimentos, mantendo a aceitação sensorial; e científica, para avaliar propriedades físico-químicas e sensoriais das misturas e seu comportamento em alimentos reais.

Esta pesquisa pode oferecer base para desenvolvimento de produtos com menor teor calórico, sem perda de qualidade sensorial. Há escassa literatura sobre o uso de CMC e SP como intensificadores de doçura. A maioria dos estudos anteriores trata da aplicação isolada desses compostos como excipientes ou agentes de volume. Trabalhos diretamente semelhantes não foram encontrados, o que reforça o caráter inovador da pesquisa. Estudos prévios mencionados envolvem, por exemplo, o uso de sílica e celulose em farmacotécnica ou como excipientes alimentares, mas não com o foco em potencializar o sabor doce por meio de estruturação e aplicação sensorial como neste estudo.

2 – OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver e avaliar misturas compostas por celulose microcristalina (CMC), sílica precipitada (SP) e adoçantes (sacarose ou xilitol) com o intuito de intensificar a percepção do

gosto doce em alimentos sólidos, visando à redução do teor de açúcar sem prejuízo à aceitação sensorial dos produtos.

2.2 Objetivos específicos

2.2.1. Formular combinações de sacarose ou xilitol com celulose microcristalina e sílica precipitada, explorando diferentes métodos de agregação;

2.2.2. Investigar as propriedades físico-químicas das formulações, incluindo a morfologia de superfície, tamanho e forma das partículas da sacarose e do xilitol, bem como a homogeneidade da mistura e a interação entre os edulcorantes e os carreadores por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

2.2.3. Aplicar os adoçantes produzidos em uma matriz alimentícia sólida como pasta de amendoim e fazer uma análise sensorial com julgadores treinados e com provadores não treinados a fim de relacionar as características morfológicas com os resultados sensoriais, visando compreender como a estrutura das misturas influencia a percepção do gosto doce.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sacarose: Açúcar de adição

O termo “açúcares”, quimicamente, se refere a um conjunto de carboidratos que englobam mono (frutose, glicose e galactose) e dissacarídeos (lactose e sacarose). Desse grupo diferenciam-se dois tipos: aqueles encontrados naturalmente nos alimentos, como a frutose e a sacarose presentes nas frutas e a lactose presente no leite, e aqueles extraídos de alimentos (cana-de-açúcar, beterraba e milho) para posterior uso em preparações gastronômicas ou na produção de alimentos industrializados. A este último grupo, dá-se o nome de “açúcares de adição” (Levy et al., 2012).

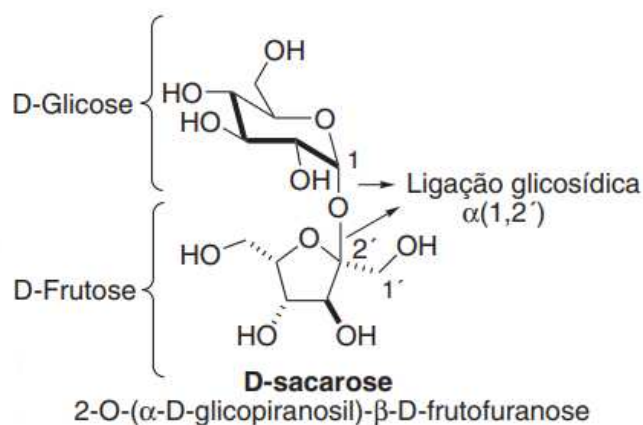
O açúcar de adição mais consumido no mundo é a sacarose e ela é um dos principais carboidratos de reserva de energia das plantas, sendo produzida em larga escala em diversos países, principalmente para uso alimentar. É um dissacarídeo não redutor constituído de dois monossacarídeos, D-glicose e D-frutose, que estão ligados entre si através dos seus carbonos anoméricos por meio de uma ligação glicosídica do tipo α -1,2 (Fig.1). É conhecido

genericamente com o nome de açúcar e é a substância orgânica cristalina de maior produção mundial tendo duas fontes naturais importantes: beterraba (*Beta vulgaris*) e cana-de-açúcar (*Sacharum officinarum*), esta última é cultivada em 103 países responsável por 60-70% da sua produção (Ferreira, Rocha e Silva, 2009).

A sacarose possui fórmula química $C_{12}H_{22}O_{11}$, peso molecular 342,30, densidade de 1,587 g/cm³, e ponto de fusão de 186 °C. Sua solubilidade em água é de 2100,0 mg/mL (a 25 °C), 5,88 mg/mL de etanol e cerca de 10 mg/mL de metanol. Em temperaturas elevadas, especialmente acima de 160 °C, ocorre a caramelização, uma reação térmica que resulta na degradação da sacarose, formando compostos com cores e sabores característicos (PubChem, 2024).

Sendo uma substância higroscópica, a sacarose tende a absorver água do ambiente e a presença dessa umidade pode levar à sua hidrólise em glicose e frutose, especialmente em condições ácidas ou alcalinas (Zhang; Guo, 2021).

Figura 1. Fórmula estrutural da sacarose.



Fonte: adaptado de Ferreira, Rocha e Silva (2009).

A sacarose também é uma substância opticamente ativa e dextrorrotatório, o que significa que pode girar o plano da luz polarizada no sentido horário. Sua rotação específica é de aproximadamente +66,5° quando dissolvida em solução aquosa a uma concentração padrão e temperatura específica. Sua estrutura cristalina contribui para tais propriedades ópticas, pois a disposição dos átomos na rede cristalina influencia como a luz é refratada e refletida (Pang; Zhang, 2021).

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento, em 2023 o Brasil registrou uma produção recorde de cana-de-açúcar e açúcar. A safra 2023/24 alcançou 713,2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, um aumento de 16,8% em comparação ao ciclo anterior. Desse total, a produção de açúcar foi estimada em 45,68 milhões de toneladas, representando um incremento de 24,1% em relação à safra anterior. Este volume de produção corresponde a cerca de 50% do comércio global de açúcar, estabelecendo o Brasil como o principal exportador mundial do produto (Companhia Nacional de Abastecimento, 2024).

A menor parcela do açúcar brasileiro é destinada ao mercado interno (37%), distribuído para as indústrias de atacado e varejo e o restante é exportado tipo Very High Polarization (VHP) - açúcar bruto, utilizado como insumo no processo de refinação. O açúcar brasileiro produzido a partir de cana-de-açúcar é um dos mais competitivos do mundo em relação ao custo de produção, sendo produzido no país a um valor quatro vezes menor que o custo médio mundial de produção de açúcar de beterraba (Companhia Nacional de Abastecimento, 2024).

Segundo a Instrução Normativa nº 47, de 30 de agosto de 2018, publicada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o açúcar produzido no Brasil tem sua classificação estabelecida em função dos seus requisitos de identidade e qualidade, sendo dividido em:

Grupo I: açúcar destinado à alimentação humana através de venda direta ao consumidor final. Este pode ser classificado em açúcar branco e açúcar bruto, tais como refinado, cristal, demerara e mascavo.

Grupo II: açúcar destinado a indústrias alimentícias e outras finalidades de uso. Este grupo abrange o açúcar branco, bruto e líquido, sendo integrantes o refinado, demerara e líquido invertido (MAPA, 2018).

A sacarose comercializada mundialmente para consumo como açúcar de adição está na forma de cristais e possui elevada gama de aplicações industriais e menor custo de aquisição em relação aos demais tipos de açúcares. Um açúcar cristal de boa qualidade apresenta de 99,5% a 99,8% de sacarose; 0,03% a 0,10% de glicose e frutose; 0,05% a 0,10% de umidade; e 0,04% a 0,10% de sais minerais (Manhani et al, 2014).

Além de aumentar a doçura dos alimentos, a sacarose contribui para a estrutura, textura, dissolução e/ou percepção do sabor de produtos e o estado físico da sacarose sólida afeta essas características, incluindo estabilidade, dissolução, sorção de umidade e muitas propriedades sensoriais, como textura e percepção de sabor (Mathlouthi; Reiser; Birch, 1995).

3.2 O consumo de açúcar e a influência na saúde da população

O consumo excessivo de açúcar tem sido associado a uma série de problemas de saúde, incluindo obesidade, diabetes tipo 2 e doenças cardiovasculares. Segundo Reis (2014), fatores como a predileção natural pelo gosto doce, o baixo custo do produto, sua vasta aplicação em alimentos e a carência, até então, de políticas para o controle de sua ingestão, podem explicar o excesso do consumo de açúcar pela população. Consideram-se ainda os fatores psicológicos e emocionais, sendo que alimentos açucarados são culturalmente considerados recompensas, para atenuar a ansiedade ou sentimento negativos.

De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO (Universidade Estadual de Campinas, 2011), o valor energético do açúcar (sacarose cristalizada) é de 387 kcal/100g, sendo composto por 99,5 % de carboidratos. Diante do seu elevado valor calórico associado ao consumo excessivo, o açúcar passou a ser um vilão na alimentação das pessoas, sendo associado ao surgimento de diversas Doenças Crônicas Não Transmissíveis.

A obesidade, definida como IMC maior ou igual a 30 kg/m², é fator de risco para diferentes disfunções metabólicas e endócrinas, como hiperglicemia, hipertensão e dislipidemia. A prevalência da obesidade aumentou nas últimas décadas a ponto de já ser considerada uma epidemia e o alto consumo de açúcar foi apontado como uma das principais causas por induzir aos excessos de ganho de peso, sendo considerado um fator de risco para doenças crônicas, como diabetes mellitus tipo 2 (DM2) e doenças cardiovasculares (DCV) (Yan; Chan; Louie, 2022).

De acordo com o portal Food Connection (2023), o consumo individual de açúcar no Brasil chega à média de 80 g/dia, mesmo que o total recomendado com base em uma dieta de 2 mil calorias seja de 25 a 50 gramas diárias. Porém, a tendência nos anos 2000 à 2010 foi de um aumento anual de 2,5% no consumo global de açúcar. Entretanto, na última década (2010 à 2020), essa média foi de 1% ao ano apenas.

Estratégias de redução do consumo de açúcar incluem tanto intervenções individuais quanto políticas. Mozaffarian et al. (2011) exploram as estratégias para reduzir o consumo de açúcares adicionados e o impacto dessas estratégias na saúde pública. O estudo, publicado na New England Journal of Medicine analisa intervenções individuais, como aconselhamento nutricional, e políticas públicas, como rotulagem de alimentos e restrições de publicidade.

Em resposta à crescente preocupação com os altos níveis de açúcar nos alimentos industrializados e à dificuldade do consumidor em identificar esses teores nos rótulos, a

Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) aprovou a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 429, de 8 de outubro de 2020. Essa norma estabelece a obrigatoriedade da rotulagem nutricional frontal em alimentos embalados, destacando o alto teor de açúcares adicionados, gorduras saturadas e sódio, com o intuito de facilitar a escolha consciente dos consumidores e promover a reformulação de produtos pela indústria (BRASIL, 2020). Nesse contexto, torna-se essencial o desenvolvimento de soluções tecnológicas que permitam a redução do teor de açúcar nos alimentos sem comprometer sua aceitação sensorial, o que representa um dos maiores desafios da indústria alimentícia contemporânea.

Estudos demonstram que sistemas de rotulagem nutricional frontal, especialmente aqueles com advertências visuais claras, como símbolos ou alertas de alto teor, impactam diretamente na decisão de compra dos consumidores, levando-os a preferir produtos considerados mais saudáveis (Lima et al., 2021). Além disso, essa abordagem incentiva a reformulação de produtos pelas indústrias, que passam a buscar alternativas para reduzir o conteúdo de ingredientes críticos, como açúcares e gorduras, a fim de evitar a rotulagem negativa (Jáuregui et al., 2020). Portanto, iniciativas regulatórias como a RDC nº 429/2020 não apenas ampliam o acesso à informação nutricional de forma mais clara e objetiva, como também geram efeitos positivos em toda a cadeia produtiva de alimentos, promovendo escolhas alimentares mais saudáveis e estimulando a inovação tecnológica voltada à melhoria nutricional dos produtos ofertados ao consumidor final.

Porém, para um paladar habituado, alimentos e bebidas ficam com um sabor muito melhor quando têm açúcar. A ingestão de açúcar tem efeito direto na função da serotonina, um neurotransmissor que regula o humor e o sono. Sabe-se hoje que a alimentação emocional resulta do desejo de amenizar os efeitos do estresse, parcialmente regulado pelo eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (HPA) e a atividade do eixo HPA é reduzida através do consumo de alimentos que contêm açúcar. Após esse consumo, hormônios são liberados para diminuir a sensação de estresse, o que posteriormente aumenta o desejo por alimentos reconfortantes, propagando assim hábitos de alimentação emocional (Jacques et al., 2019).

3.3 A redução de açúcar em produtos industrializados

Desde o nascimento, os seres humanos demonstram uma preferência natural por sabores doces. Essa predisposição é considerada uma adaptação evolutiva, pois alimentos doces, como frutas e o próprio leite materno, são fontes de energia e nutrientes essenciais à sobrevivência. Estudos indicam que essa preferência inata está presente em bebês e crianças

pequenas, independentemente de influências culturais ou ambientais (Ventura; Mennella, 2011).

Estudos recentes confirmam que essa inclinação está presente desde o nascimento, evidenciada pela aceitação espontânea de soluções doces por recém-nascidos, mesmo sem exposição prévia a alimentos saborizados (Schwartz et al., 2009). Do ponto de vista evolutivo, essa preferência representa uma vantagem adaptativa. Em ambientes ancestrais, alimentos doces eram geralmente fontes seguras e densas de energia, como frutas maduras e méis silvestres. Assim, indivíduos que demonstravam maior atração por sabores doces possuíam maior probabilidade de sobrevivência e reprodução (Cecati et al., 2022).

Apesar da predisposição inata, as preferências gustativas são significativamente influenciadas por experiências e aprendizados ao longo da vida. Fatores como a exposição repetida a certos alimentos, práticas alimentares familiares e contextos culturais desempenham um papel crucial na formação do paladar. Por exemplo, crianças que são frequentemente expostas a alimentos adoçados tendem a desenvolver uma preferência mais acentuada por gostos doces (Mennella et al., 2014). Além disso, o ambiente alimentar durante a gestação e a amamentação também exerce influência sobre as preferências futuras, uma vez que os sabores dos alimentos consumidos pela mãe são transmitidos ao feto por meio do líquido amniótico e, posteriormente, pelo leite materno (Ventura; Phelan; Garcia, 2021).

A percepção do gosto doce depende da interação dos receptores TAS1R2 e TAS1R3, proteínas expressas na língua e em outros tecidos, como o intestino e o pâncreas, com funções relacionadas à sinalização da presença de glicose e à homeostase energética (Diepeveen et al., 2022). Estudos indicam que variantes genéticas nesses receptores podem modular a sensibilidade individual à doçura e influenciar padrões alimentares (Cecati et al., 2022).

Além dos fatores genéticos e evolutivos, o ambiente perinatal também influencia essa preferência. Durante a gestação e a lactação, o feto e o recém-nascido são expostos a sabores através do líquido amniótico e do leite materno, moldando de forma precoce suas respostas sensoriais (Mennella; Beauchamp, 2015). Assim, estratégias voltadas à reformulação de alimentos com menor teor de açúcar devem considerar tanto os aspectos inatos quanto os moduláveis da preferência pelo gosto doce.

No entanto, na dieta moderna, a doçura é frequentemente fornecida por meio de açúcares adicionados e adoçantes sem a presença de outros nutrientes benéficos. Os edulcorantes dietéticos sintéticos (EDS) oferecem uma doçura com pouca ou nenhuma caloria, o que os torna uma estratégia potencial para manter a palatabilidade de alimentos e bebidas, ao mesmo tempo, em que reduzem o teor calórico (Sylvetsky et al., 2017). Contudo, existe o

problema relacionado ao retrogosto característico de muitos adoçantes, frequentemente descrito como amargo, metálico ou adstringente, o que pode prejudicar a aceitação sensorial dos produtos. Estudos sensoriais utilizando métodos temporais como TCATA (Temporal Check-All-That-Apply) mostraram que adoçantes não-nutritivos como acesulfame-K, sucralose e rebA (Stevia) são citados pelos consumidores por apresentarem sabores amargos e metálicos persistentes após a degustação, enquanto o sucralose mantém um perfil predominantemente doce, embora com persistência prolongada de doçura (Kee Tan et al, 2019). Em outro estudo sobre sucos de pêssgo adoçados com stevia (diferentes teores de rebaudiosídeo A), constatou-se que concentrações elevadas de rebaudiosídeo A ainda são associadas a gosto residual amargo e adstringência, impactando negativamente a aceitação do produto (Medeiros; Tavares; Bolini, 2022).

Apesar do aumento significativo do uso de EDS, os seus efeitos metabólicos e de saúde ainda não estão bem definidos, e, particularmente, pouco se sabe sobre os efeitos quando a exposição começa desde a infância ou juventude. Sylvetsky et al. (2017) observaram que a exposição aos edulcorantes durante a gestação e lactação alterou as preferências de sabor de crianças, aumentando a aceitação de alimentos doces ao longo da vida. Estudos em ratos demonstraram que a exposição ao ED pode causar alterações morfológicas e bioquímicas no sistema gustativo, como o aumento do número e do tamanho das papilas gustativas fungiformes. Dada a grande aceitação do gosto doce, especialmente entre as crianças, mostra-se crucial estabelecer o papel dos ED na saúde infantil antes de continuar a promover essas alternativas como substitutos saudáveis para açúcares calóricos. Apesar da ampla utilização dos adoçantes dietéticos e de sua regulamentação sanitária, ainda não existe um consenso entre os pesquisadores sobre sua inocuidade para a saúde dos consumidores (Arrais, et al., 2019).

O consumo excessivo de adoçantes, tanto artificiais quanto naturais, tem sido associado a alterações significativas na microbiota intestinal e em parâmetros metabólicos. Estudos recentes indicam que adoçantes como sucralose e sacarina podem impactar negativamente a composição da microbiota intestinal, promovendo disbiose e inflamação. Em um estudo clínico randomizado, Méndez-García et al. (2022) investigaram os efeitos do consumo diário de 48 mg de sucralose por dez semanas em adultos saudáveis. Os resultados mostraram uma diminuição na abundância de *Lactobacillus acidophilus* e um aumento de *Blautia coccoides*, indicando disbiose intestinal. Além disso, observou-se um aumento significativo nos níveis de insulina e na área sob a curva de glicose durante o teste de tolerância à glicose, sugerindo uma possível interferência no metabolismo da glicose.

Em modelos animais, Escoto et al. (2021) avaliaram os efeitos do consumo crônico de sucralose e sacarina na microbiota intestinal e no sistema imunológico de camundongos. Após 12 semanas, observou-se uma redução na diversidade bacteriana e um aumento nos níveis de citocinas pró-inflamatórias, como IL-12 e IL-17, nas placas de Peyer e na lâmina própria do intestino delgado, indicando uma resposta inflamatória exacerbada.

Além dos adoçantes artificiais, poliálcoois como o sorbitol e o xilitol também apresentam efeitos adversos quando consumidos em excesso. O sorbitol é frequentemente associado à diarreia crônica, especialmente em indivíduos com síndrome do intestino irritável (SII), devido à sua fermentação no cólon e efeito osmótico. Yao et al. (2014) demonstraram que pacientes com SII apresentam maior produção de hidrogênio e sintomas gastrointestinais mais intensos após a ingestão de sorbitol, em comparação com indivíduos saudáveis. De forma semelhante, Lenhart e Chey (2022) evidenciaram, por meio de uma revisão sistemática, que polióis como sorbitol e xilitol induzem sintomas gastrointestinais dose-dependentes, como flatulência, desconforto abdominal e diarreia. Já a Harvard Health Publishing (2024) relatou que o consumo excessivo de xilitol pode causar distensão abdominal, gases e diarreia, especialmente em indivíduos com SII.

Além disso, substituir a sacarose por adoçantes não é tão simples sensorialmente, pois eles não conseguem reproduzir o gosto doce agradável do açúcar. Apesar de terem sido desenvolvidos visando a diminuição no consumo de açúcar, alguns estudos ainda demonstraram que o aumento no consumo dos produtos contendo adoçante dietético não se refletiu na redução de consumo de produtos adoçados com açúcar, acreditando na possibilidade de um efeito compensatório ou mudanças no controle do apetite (Paz; Costa, 2021).

A substituição da sacarose por edulcorantes em formulações alimentares apresenta desafios sensoriais significativos, principalmente devido ao gosto amargo e ao sabor residual que muitos desses compostos deixam, comprometendo a aceitação do produto final.

Estudos sensoriais demonstram que edulcorantes como a estévia (*Stevia rebaudiana*), acessulfame-K e a combinação ciclamato/sacarina frequentemente apresentam amargor residual perceptível, especialmente em concentrações mais elevadas. Por exemplo, análises tempo-intensidade revelaram que o extrato de estévia, mesmo em equivalência de doçura à sacarose, exibe um amargor prolongado e intenso, contrastando com o perfil limpo da sacarose (Benassi et al., 2010).

O acessulfame-K, embora possua rápida percepção de doçura, é seguido por um amargor moderado e persistente após a ingestão (St John et al., 2024). Da mesma forma, a

combinação ciclamato/sacarina apresenta aumento da intensidade amarga com o aumento da concentração, passando de "fraco" até doçura equivalente a 10% de sacarose para "moderado" em concentrações mais altas (Cardello; Da Silva; Damasio, 1999).

A origem desses sabores residuais indesejáveis está relacionada à ativação de receptores de gosto amargo (TAS2Rs) na língua. Pesquisas indicam que edulcorantes como sacarina e acessulfame-K ativam os receptores hTAS2R43 e hTAS2R44, responsáveis pela percepção do amargor (Meyerhof et al., 2005). Além disso, a semelhança estrutural entre os receptores de gosto doce (T1R2-T1R3) e umami (T1R1-T1R3) pode levar à ativação cruzada, contribuindo para sabores residuais desagradáveis (Shim et al., 2015).

Diante desses desafios, estratégias como a combinação de edulcorantes têm sido exploradas para mascarar o amargor. Por exemplo, a mistura de sacarina com ciclamato mostrou reduzir o gosto amargo em comparação com os compostos isolados, possivelmente devido à inibição mútua dos receptores de gosto amargo (Meyerhof, 2017).

Álcoois de açúcar, também conhecidos como polióis, são um grupo de carboidratos de baixo peso molecular utilizados principalmente como edulcorantes. Eles são derivados de açúcares por meio da substituição de um grupo aldeído por um grupo hidroxila. Isso reduz a quantidade de calorias que são absorvidas, já que os polióis são parcialmente digeridos pelo corpo. Esses compostos são amplamente utilizados em produtos sem açúcar, como gomas de mascar e balas, devido a sua capacidade de adoçar com menos calorias que a sacarose. Além disso, possuem baixo índice glicêmico, o que os torna populares entre pessoas com diabetes e aqueles que desejam controlar o consumo de açúcar. No entanto, o consumo excessivo pode causar desconforto gastrointestinal, como flatulência ou diarreia, devido à sua digestão incompleta no intestino delgado. O grupo hidroxila (–OH) adicional confere aos polióis uma doçura que pode variar de 25% a 100% a doçura do açúcar (Quadro 1). Os principais polióis utilizados comercialmente são o xilitol, sorbitol, maltitol e eritritol (Gremebecka, 2015).

O xilitol ($C_5H_{12}O_5$) é um poliálcool de cinco carbonos amplamente reconhecido como um adoçante natural. Ele pode ser produzido industrialmente por meio de duas principais rotas – química e biotecnológica. A rota biotecnológica tem recebido maior destaque recentemente por seu caráter mais sustentável e competitivo. Em seu estudo Hernández-Pérez et al. (2019) destacam que a bioprodução de xilitol a partir de hidrolisados lignocelulósicos utilizando micro-organismos, como leveduras do gênero *Candida*, representa um paradigma promissor em biorefinarias integradas, devido à sua eficiência e menor necessidade de purificação em comparação à rota química tradicional. Umai et al. (2022), aprofundam o entendimento do

metabolismo microbiano na produção de xilitol, especificamente a atuação da enzima redutase de xilose e as cepas promissoras como *Candida tropicalis* e *C. guilliermondii*.

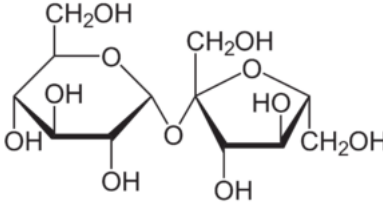
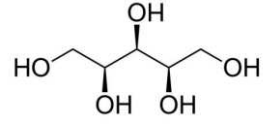
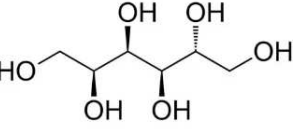
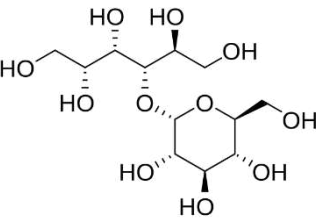
No organismo humano, o xilitol exerce efeitos metabólicos benéficos, particularmente por não elevar significativamente os níveis de glicose ou insulina, sendo considerado adequado para pessoas com diabetes mellitus. Além disso, estudos clínicos avaliam sua eficácia no controle glicêmico e sua segurança, destacando-o como uma alternativa interessante aos adoçantes calóricos (Meyer-Gerspach et al., 2021). Em termos de aplicações industriais e medicinais, o xilitol figura como adoçante de baixo valor calórico em diversos produtos alimentícios (gomas de mascar, confeitos, sobremesas, alimentos dietéticos), além de melhorar a palatabilidade de medicamentos como xaropes e pastilhas e ser utilizado em sprays nasais pela sua ação osmótica.

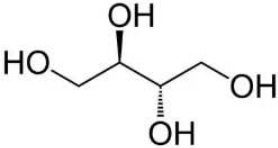
De acordo com Birch (1999), modulações qualitativas e quantitativas do gosto doce são necessárias para o desenvolvimento e otimização de produtos alimentícios. Quanto maior for a potência do adoçante, maior será a economia na formulação de produtos alimentares, e a maior parte dos EDS permitidos são pelo menos duzentas vezes mais potentes que a sacarose. Os produtos dietéticos para diabéticos podem necessariamente exigir esse tipo de edulcorante afim que se controle ao máximo a ingestão de glicose, mas esta aplicação cria problemas relacionados a sabores estranhos em muitos alimentos (notas amargas, de alcaçuz ou de mentol). Portanto, o refinamento da pureza do gosto doce na tentativa de se assemelhar ao açúcar é um dos grandes problemas para a indústria.

Industrialmente, a ausência de açúcar em produtos processados também é um problema, pois altera a retenção de umidade e provoca a alteração de outros parâmetros como sabor, textura, corpo, cor e aroma nos produtos. Por esse motivo, o desenvolvimento de produtos com teor reduzido de sacarose é um desafio para a indústria (Barros et al., 2019).

Sendo assim, um método para aumentar a doçura dos carboidratos adoçantes ou dos polióis adoçantes, ou reduzir a quantidade de carboidratos adoçantes para alcançar uma doçura equivalente são desejados.

Quadro 1. Propriedades físico-químicas e equivalência de doçura de polióis utilizados como adoçantes.

Poliol	Estrutura	Fórmula estrutural	Fórmula molecular	Valor calórico (kcal/g)	Ponto de fusão (°C)	Solubilidade em água a 25° C (g/100 ml)	Equivalência de doçura relativa à sacarose
Sacarose	Estrutura cíclica, composta por uma molécula de glicose e uma de frutose.		$C_{12}H_{22}O_{11}$	4,0	160 - 192	211,4	1
Xilitol	Estrutura linear de 5 carbonos com grupo OH		$C_5H_{12}O_5$	2,4	92-96	160	0,7 (70 % da sacarose)
Sorbitol	Estrutura linear de 6 carbonos com grupo OH		$C_6H_{14}O_6$	2,6	95-100	235	0,6 (60% da sacarose)
Maltitol	Estrutura de dissacarídeo com sorbitol		$C_{12}H_{24}O_{11}$	2,1	148-151	65	0,75-0,9 (75-90% da sacarose)

Eritritol	Estrutura linear de 4 carbonos com grupo OH	 <chem>OCC(O)C(O)CO</chem>	$C_4H_{10}O_4$	0,2	119-123	37	0,6-0,7 (60-70% da sacarose)
-----------	---	---	----------------	-----	---------	----	------------------------------

Fonte: Adaptado de Nogueira-de-Almeida e Filho (2022) e Livesey (2003).

3.4 Os quimiorreceptores de gosto doce

A percepção dos gostos básicos ocorre por meio de órgãos sensoriais, chamados papilas gustativas, localizados principalmente na língua e outras áreas da cavidade oral. Esses órgãos contêm três tipos de células principais: as do tipo II, que percebem gosto amargo, doce e umami; as do tipo III, que captam o gosto salgado; e as do tipo I, que representam aproximadamente 50% das células gustativas e estão mais associadas a funções de suporte na percepção gustativa e à regulação do ambiente iônico, como a captação de potássio e a degradação de ATP, do que à detecção direta de sabores específicos (Roper; Chaudhari, 2017).

Os receptores gustativos, formados por proteínas especializadas como os receptores acoplados à proteína G (GPCRs) e canais iônicos, são responsáveis pela transdução sensorial. Estes receptores enviam sinais ao Sistema Nervoso Central, convertendo estímulos químicos, que estão dissolvidos na saliva, em impulsos elétricos (Roper; Chaudhari, 2017).

Os receptores de gosto doce T1R2+T1R3 são proteínas presentes nas papilas gustativas responsáveis por detectar e mediar a percepção do gosto doce em humanos e outros animais. Eles pertencem à família de receptores acoplados à proteína G e desempenham um papel crucial na detecção de uma variedade de compostos que percebemos como doces, como açúcares, edulcorantes artificiais e alguns aminoácidos. Quando uma substância doce entra em contato com a língua, ela interage com o heterodímero T1R2+T1R3 nas células gustativas, a ligação do composto doce ao receptor ativa a proteína G associada, que inicia uma cascata de sinalização celular: ativa a enzima fosfolipase C β 2, que aumenta a produção de inositol trifosfato (IP3), que leva à liberação de cálcio intracelular, que por sua vez ativa canais iônicos que provocam a despolarização da célula gustativa. A despolarização resulta na geração de potenciais de ação que são transmitidos ao cérebro via nervos gustativos, onde o gosto doce é percebido (Von Molitor et al., 2021).

Os receptores T1R2+T1R3 podem detectar uma grande variedade de compostos doces como a glicose, frutose, sacarose, aspartame, sucralose, aminoácidos doces como a glicina entre outros adoçantes naturais e artificiais, porém a exposição frequente a alimentos muito doces pode alterar a sensibilidade desses receptores, tornando as pessoas menos sensíveis a açúcares moderadamente doces e mais propensas a consumir alimentos com alto teor cada vez maiores de açúcar (Yarmolinsky; Zuker; Ryba, 2009).

De acordo com Fernstrom et al (2012), embora o receptor T1R2+T1R3 identifique o que é doce, ele não explica por que algo é doce, esses receptores, inicialmente descobertos na boca, também são encontrados em outras partes do corpo. Notavelmente, tanto o T1R2 quanto o T1R3 são expressos em células endócrinas do trato gastrointestinal, onde desempenham um papel na detecção de glicose, liberação de hormônios de saciedade, expressão de transportadores de glicose e manutenção da homeostase glicêmica. O papel desses receptores na assimilação e resposta aos açúcares após a ingestão destaca uma semelhança com sua função na boca, onde receptores de hormônios peptídicos, são expressos nas células gustativas. Embora as funções desses mecanismos não estejam totalmente claras, é possível que eles modulem a percepção do gosto doce em resposta a sinais metabólicos.

Estudos recentes evidenciam que a via de transdução do gosto doce nas células enteroendócrinas (EECs) desempenha um papel fundamental na regulação da homeostase glicêmica, especialmente por meio do controle da expressão gênica relacionada à captação e sinalização de glicose. Essa função extrapola a simples percepção gustativa, refletindo uma atuação sistêmica dos receptores de gosto doce, como T1R2/T1R3 e proteínas associadas, no metabolismo energético. Alterações nessa via têm sido observadas em indivíduos com distúrbios metabólicos, como obesidade e diabetes tipo 2, sugerindo que essas condições comprometem a sinalização gustativa intestinal, contribuindo para a disfunção no controle glicêmico. Notavelmente, intervenções terapêuticas como a perda de peso e a remissão do diabetes foram associadas à recuperação parcial da expressão normal dos genes dessa via, indicando seu potencial como alvo para estratégias de tratamento. Tais achados reforçam a importância de investigar a sinalização gustativa além do sistema oral, ampliando as possibilidades de intervenção em doenças metabólicas crônicas (Le Gléau et al., 2021).

A palatabilidade do açúcar não depende apenas do seu gosto doce, mas também dos seus efeitos nutritivos pós-orais. Estudos mostram que roedores desenvolvem preferência condicionada e aceitação aumentada para soluções de sabor que são associadas a infusões de açúcar, demonstrando o papel dos efeitos pós-orais nesse processo. Embora os receptores de gosto doce (T1R2+T1R3) estejam presentes no intestino, não são eles que mediam essa ação pós-oral, como indicado por pesquisas com camundongos geneticamente modificados que, mesmo sem o receptor T1R3, apresentaram respostas normais ao condicionamento de sabor com infusões de sacarose (Sclafani et al., 2010). Além disso, infusões de sucralose, que ativam esses receptores

doces intestinais, não resultaram em preferências de sabor, sugerindo a atuação de outros sensores de glicose, possivelmente ativando o sistema de recompensa dopaminérgico. Nos seres humanos, o condicionamento e preferência também ocorrem com alimentos ou bebidas associadas aos efeitos pós-orais do açúcar como visto em estudo de Pelchat e Carfagno (2010) no qual a ingestão de cápsulas de glicose aumentou a preferência por chás sem açúcar comparado a um grupo que recebeu placebo.

Embora haja dados sobre diferenças cerebrais na resposta a sacarose e adoçantes artificiais, a sacarose, em particular, foi encontrada ativando áreas cerebrais relacionadas à recompensa, como o estriado e os córtices pré-frontais, conforme mostrado em estudos de ressonância magnética funcional (Frank et al., 2008).

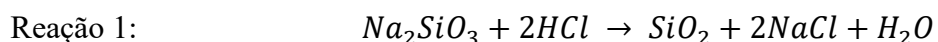
3.5 A modulação do gosto doce

Não há nenhuma ferramenta física disponível para a mensuração objetiva do gosto doce. É uma experiência subjetiva, percebida por receptores nas papilas gustativas e varia entre indivíduos e grupos culturais. Sendo assim, todas as informações sobre percepção desse gosto devem ser adquiridas a partir de respostas sensoriais tanto de avaliadores treinados como de consumidores, para atestar a potência de adoçantes individuais quanto para fornecer informações sobre os descritores do perfil de sabor. Somente os açúcares proporcionam um gosto puramente doce e totalmente aceitável, mas infelizmente a sua potência é muito inferior à da grande parte dos outros adoçantes em uso e isto leva ao desafio da modulação do gosto doce (Birch, 1999).

Ainda de acordo com Birch (1999), o aprimoramento do gosto doce pode ser obtido através da síntese química, contudo, a doçura também é reforçada por certos aditivos não doces, muitos dos quais envolvem metabólitos comuns já utilizados em alimentos. Os alimentos podem ser compostos por uma combinação complexa de adoçantes, aromatizantes, sais e texturizantes que interagem para criar uma sensação de "doçura" que não é exclusiva da percepção gustativa. Dessa forma, pode ser necessário ajustar o equilíbrio das interações para aumentar a sensação doce dentro do contexto requerido por um alimento.

Neste contexto pode-se destacar a sílica precipitada (SP), um tipo de dióxido de silício (SiO_2) amplamente utilizado como aditivo em alimentos. Ela é produzida por meio da precipitação do silicato de sódio em solução ácida (FAO, 2006) e tem uma estrutura altamente porosa, o que lhe confere propriedades funcionais específicas. Utilizada como

agente antiaglomerante, estabilizante e modificador de textura, a sílica precipitada melhora a fluidez e a estabilidade dos produtos alimentícios (Imeson, 2009).



Devido ao seu alto grau de porosidade e à grande área de superfície específica, a sílica precipitada é eficaz em absorver umidade e impedir a aglomeração de pós-alimentícios, como açúcar, sal e condimentos em pó, contribuindo para a manutenção da fluidez e estabilidade dos produtos (Wang et al., 2013).

O Comitê Científico de Alimentos da Comissão Europeia, em 1990, estabeleceu uma ingestão diária aceitável de dióxido de silício como “não especificada”, o que significa que a ingestão de dióxido de silício comumente utilizado em produtos alimentícios não representa um risco à saúde humana com base em dados toxicológicos e clínicos, em seus níveis usuais. Muitos estudos demonstraram que a sílica precipitada como aditivo alimentar pode ser usado sem preocupações sobre sua potencial toxicidade (Yoo; Young; Choi, 2022).

Outro aditivo usado para fins semelhantes é a celulose microcristalina. Ela é um derivado da celulose extraída de fibras vegetais e amplamente utilizada como aditivo na indústria alimentícia e farmacêutica como excipiente em comprimidos e cápsulas devido às suas propriedades versáteis, que incluem a estabilização de emulsões, controle de textura e agente de volume. O processo de produção da celulose microcristalina envolve uma hidrólise ácida das fibras de celulose nativa, que remove as regiões amorfas e preserva as regiões cristalinas. O produto final é um pó branco, inodoro e insípido, com alta estabilidade e versatilidade (Lupidi; Pastore; Marcantoni; Gabrielli, 2023). Além de ser um coadjuvante de tecnologia natural, a celulose microcristalina é segura para o consumo humano segundo a International Food Additives Council (IFAC).

Baniel et al (2015) desenvolveram misturas adoçantes à base de açúcar, sílica precipitada e outros compostos carreadores a fim de aumentar a capacidade adoçante do açúcar. Este estudo foi patentado e o documento público não descreve detalhes da obtenção e resultados sensoriais do material.

Estudos demonstram que a sílica precipitada, devido à sua alta área de superfície específica, pode atuar como agente desaglomerante, auxiliando na dispersão de partículas, o que pode melhorar a solubilidade de sólidos em meio aquoso. Além disso, a celulose microcristalina, uma fibra solúvel, tem sido estudada por sua capacidade de

modular a liberação de compostos saborizantes e adoçantes, facilitando a percepção gustativa. Essas propriedades sugerem que a combinação de sílica e a celulose microcristalina pode aumentar a disponibilidade de moléculas de açúcar para os receptores de sabor, amplificando a percepção do doce (Lupidi; Pastore; Marcantoni; Gabrielli, 2023), o que implicaria na redução da quantidade de açúcar utilizado nos produtos e preparações.

3.6 Análise sensorial

O conceito de análise sensorial teve início como um conjunto de características físicas de um produto, diferenciadas e identificadas pelo avaliador durante a avaliação dentro de sua viabilidade microbiológica. Ao longo do século XX, pesquisadores expandiram esse conceito, estabelecendo a análise sensorial como uma disciplina científica dedicada a medir, analisar e interpretar as reações às características dos alimentos, conforme são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, paladar, tato e audição e a partir desta medição, obter uma resposta da avaliação, para aceitar ou rejeitar o alimento (Stone; Sidel, 2004).

A escolha do método sensorial adequado é essencial para alcançar os objetivos da análise. Para realizar essa seleção de maneira adequada, é importante considerar alguns fatores, como a acuidade sensorial requerida, o perfil do público-alvo e, acima de tudo, o tipo de resposta que se deseja obter.

Para entender a distinção entre os métodos, é importante diferenciar o ser humano como instrumento de medida em dois papéis: consumidor e provador. Segundo Nogueira (2021), consumidores são selecionados de forma aleatória, mas precisam ser usuários habituais ou potenciais do produto em teste, submetidos a avaliações afetivas. Já os provadores são indivíduos que demonstram uma sensibilidade sensorial específica para um ou mais produtos, passando por treinamento e testes junto a uma equipe que realiza avaliações descritivas ou discriminativas. Os métodos discriminativos identificam diferenças qualitativas e/ou quantitativas entre as amostras, sendo usados para verificar se as amostras, submetidas a diferentes tratamentos, diferem sensorialmente. Esses testes são muito úteis em controle de qualidade, pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, além de serem utilizados no treinamento de provadores. Entre os métodos discriminativos, destacam-se a comparação pareada, triangular, duo-trio, ordenação e comparação múltipla (Alves; Otero; Krumreich, 2021).

4 - MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção, serão detalhadas as formulações das misturas adoçantes e sua caracterização, incluindo a análise de imagem por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Em seguida, será apresentada a metodologia empregada no preparo das amostras de alimentos para a análise sensorial. Por fim, detalhar-se-á a metodologia de treinamento do painel de avaliadores e os procedimentos para a avaliação sensorial do gosto doce das amostras.

Esta pesquisa foi aprovada pelo comitê de ética em seres humanos da Universidade Federal de Uberlândia, com o número de registro 5.711.231.

Utilizou-se açúcar cristal da marca Delta, xilitol cristal puro da marca Della Terra, sílica precipitada de grau alimentício FGS 200, cedida pela empresa Copasil e celulose microcristalina P.A. da marca Synth.

4.1 Embasamento para a escolha dos materiais da pesquisa

A sílica precipitada e a celulose microcristalina têm sido amplamente utilizadas como carreadores em produtos alimentícios e principalmente fármacos, por suas propriedades de modificação de textura e de liberação controlada de compostos ativos (Trendafilova; Popova, 2024). A incorporação de compostos que modificam a matriz de açúcar pode criar uma distribuição espacial não homogênea, aumentando a percepção da doçura ao aumentar a área superficial efetiva dos cristais de açúcar (Choi et al., 2024).

Essa modificação estrutural baseia-se em tornar micropontos de contato entre o cristal de açúcar e o agente carreador em pontos amorfos, onde a reação com a saliva será mais rápida. Além disso, com os micropontos amorfos, o açúcar pode ter problemas de aglomeração, pois essas áreas são mais propícias a absorver água, e tanto a sílica precipitada quanto a celulose microcristalina podem atuar aumentando a estabilidade do açúcar em condições de armazenamento pois são conhecidos agentes antiaglomerantes (Narula et al., 2024). Isso sugere que a adição desses compostos pode não apenas intensificar o gosto doce percebido na boca, mas também melhorar a qualidade e a conservação do açúcar.

O xilitol é um adoçante amplamente utilizado por ter um sabor semelhante ao açúcar, porém sua doçura é cerca de 60-70% da sacarose (O'donnell; Kearsley, 2012). A adição de carreadores pode alterar a textura, dispersão ou interação do xilitol na boca, potencialmente amplificando a sensação de doçura. Isso é relevante em produtos onde o gosto doce precisa ser acentuado. Ao tornar o xilitol mais doce através de modificações físicas ou funcionais, pode ser possível reduzir a quantidade necessária nos alimentos o que traz benefícios econômicos, além de potencialmente minimizar efeitos colaterais que algumas pessoas experimentam com grandes quantidades de xilitol, como desconforto gastrointestinal.

Diante disso, os compostos carreadores sílica precipitada (SP) e celulose microcristalina (CMC) o poliol xilitol e a sacarose foram escolhidos para serem avaliados em misturas para potencialização de gosto doce neste estudo.

Foi utilizada celulose microcristalina fornecida pela empresa Bulk Supplements, apresentada em pó fino e branco, própria para uso em alimentos e formulações farmacêuticas. A celulose microcristalina é obtida por hidrólise ácida controlada da celulose purificada e atua como estabilizante, antiaglutinante, modificador de textura e agente de volume em produtos alimentícios. Seu uso é aprovado como aditivo alimentar pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), conforme a Resolução RDC nº 45, de 3 de novembro de 2010, que lista os aditivos autorizados para uso em diversas categorias de alimentos. Além disso, é considerada segura para consumo humano pelas principais agências reguladoras internacionais, como o FDA (21 CFR §172.872), sendo classificada como GRAS (Generally Recognized as Safe).

A sílica precipitada utilizada foi de qualidade alimentar, marca Perkasil SM660, fornecida em pó branco e fino, com elevada área superficial específica, própria para aplicações em alimentos. A sílica precipitada atua como agente antiaglomerante, espessante e suporte para ingredientes ativos, podendo ser utilizada em alimentos em conformidade com a Resolução RDC nº 45, de 3 de novembro de 2010, da ANVISA, e também é reconhecida como segura pelo FDA, conforme descrito no regulamento 21 CFR §172.480. A forma precipitada apresenta estrutura porosa, baixa densidade e boa capacidade de adsorção, características que foram exploradas neste trabalho para intensificar a percepção de doçura.

4.2 Seleção dos alimentos para aplicação dos compostos adoçantes

A aplicação de misturas de celulose microcristalina e sílica precipitada com açúcar visa potencializar o gosto doce em diferentes matrizes alimentares. Para este estudo, optou-se por testar a eficácia das misturas adoçantes em matrizes alimentícias com diferentes texturas e que se beneficiassem sensorialmente da adição de açúcar. Inicialmente, as misturas foram testadas em sequilhos, um tipo de biscoito à base de amido de milho e manteiga que possui uma matriz de massa seca e crocante. No entanto, os resultados não foram satisfatórios, pois a incorporação da mistura resultou em uma textura excessivamente dura e seca, comprometendo inclusive a percepção do sabor. Essa experiência demonstrou que a aplicação da mistura é mais adequada a alimentos com texturas mais úmidas ou cremosas.

Para a qualificação deste estudo, foi inicialmente proposto e executado o teste das formulações em dois alimentos com características sensoriais e texturas distintas: chocolate meio amargo e pasta de amendoim. Essa abordagem visava uma avaliação abrangente do impacto das misturas dos adoçantes em diferentes matrizes alimentares. Contudo, ao longo da execução das análises sensoriais e da aprofundada interpretação dos dados preliminares, observou-se que a intensidade do amargor intrínseco do chocolate meio amargo atuava como um fator de mascaramento significativo, dificultando a percepção e discriminação de diferenças sutis no grau de doçura conferido pelas distintas formulações de adoçantes. Tal efeito, embora esperado em certo grau, mostrou-se um desafio para a obtenção de dados sensoriais satisfatórios para conclusões mais robustas. Diante disso, e visando maximizar a clareza e a validade dos resultados sensoriais, optou-se por focar a análise aprofundada exclusivamente na pasta de amendoim. Este alimento, com seu perfil lipídico e textura cremosa característica, demonstrou ser uma matriz mais adequada para permitir a expressão e a discriminação das nuances de doçura entre as amostras de adoçantes. Essa decisão estratégica permitiu concentrar os recursos e esforços na obtenção de dados sensoriais mais precisos e interpretáveis, fornecendo uma base sólida para a compreensão do impacto do processamento e dos carreadores na percepção do dulçor, sem a interferência complexa do amargor.

4.3 Preparo das composições adoçantes à base de sacarose ou xilitol

A metodologia de preparo das misturas adoçantes estudadas neste trabalho foi baseada livremente no documento de patente US 2015/0289550 A1 de 15 de outubro de 2015, com adaptações (Baniel et al.; 2015).

O método baseia-se em produzir misturas adoçantes compreendendo o revestimento mecânico de carboidratos adoçantes ou polióis adoçantes por uma substância carreadora, a fim de perceber aumento na percepção de gosto doce com relação a um produto controle sem o composto carreador.

As misturas adoçantes produzidas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição das misturas adoçantes produzidas.

Código da mistura	Carboidrato /poliol	Composto carreador	Técnica de mistura
T1 - AA (controle para sacarose)	sacarose	-	-
T2 - AS	sacarose	SP	Moagem individual seguida de mistura
T3 - ASco	sacarose	SP	Co-moagem
T4 - AC	sacarose	CMC	Moagem individual seguida de mistura
T5 - ACco	sacarose	CMC	Co-moagem
T6 - XX (controle para xilitol)	xilitol	-	-
T7 - XS	xilitol	SP	Moagem individual seguida de mistura
T8 - XSco	xilitol	SP	Co-moagem
T9 - XC	xilitol	CMC	Moagem individual seguida de mistura
T10 - XCco	xilitol	CMC	Co-moagem

SP: sílica precipitada; CMC: celulose microcristalina

4.3.1 Preparo dos adoçantes controle (sacarose e xilitol puros - T1 e T6)

Para as amostras controle de sacarose e de xilitol foram utilizadas, 50 g de sacarose/xilitol triturados em um moedor elétrico (150w, Cadence) por 20 segundos e armazenadas em pote plástico com tampa dentro de dessecador até o momento de utilização.

4.3.2 Preparo das misturas adoçantes com carreadores (Método de Moagem Separada)

As misturas de ambos os métodos (moagem separada e co-moagem) foram preparadas de acordo com Baniel et al (2015) com adaptações. Foi incorporado sílica precipitada (Perkasil SM660, grau alimentício) ou celulose microcristalina (Bulk Supplements, grau alimentício) na concentração de 8% (m/m) em relação aos adoçantes em pó (sacarose ou xilitol, ambos de grau alimentício). Para isso, 4 g do carreador foram moídos em um moedor elétrico por 20 segundos e, em seguida, transferidos para um gral e macerados com pistilo por 10 minutos. Separadamente, 50 g do adoçante (sacarose ou xilitol) foram moídos no mesmo moedor elétrico por 20 segundos. O adoçante moído foi então adicionado gradualmente ao gral, em porções, e macerado com o carreador por 10 minutos para garantir a homogeneização. Após a adição total, a mistura foi macerada por mais 5 minutos. Finalmente, a mistura em pó combinada foi sonicada por 30 minutos em banho ultrassônico e armazenada conforme as demais preparações.

4.3.3 Preparo das misturas de adoçantes com carreadores (Método de Co-Moagem)

Foi incorporado 4 g de sílica precipitada (Perkasil SM660, grau alimentício) ou celulose microcristalina (Bulk Supplements, grau alimentício) a 50 g de sacarose ou xilitol (ambos de grau alimentício), conforme a composição da amostra. Inicialmente, o adoçante e o carreador foram transferidos simultaneamente para um moedor elétrico e triturados em conjunto por 20 segundos. Em seguida, o pó obtido foi transferido para um gral com pistilo e macerado por mais 10 minutos para garantir a homogeneização. Por fim, cada mistura foi sonicada em banho ultrassônico por 30 minutos e armazenada em potes plásticos, sob condição de dessecador, até a utilização.

4.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizada no Laboratório Multiusuário de Microscopia Eletrônica de Varredura (LAMEV) da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). As amostras das misturas adoçantes foram previamente recobertas com ouro em um pulverizador Leica EM SCD050. Após o recobrimento, a caracterização morfológica foi

realizada em um microscópio eletrônico de varredura Zeiss EVO MA10, utilizando aumentos de 2000 \times .

4.5 Preparo das amostras de alimentos para análise sensorial

Neste estudo foi utilizada pasta de amendoim integral crocante da marca Power One, composta apenas de amendoim torrado, moído e processado até o ponto de pasta, com adição de amendoim moído grosseiramente para proporcionar crocância. Adicionou-se 10% de composição adoçante conforme Tabela 1 da seção 4.3, e homogeneizou-se em batedeira na velocidade baixa por 5 minutos.

A escolha de 10% de mistura adoçante na formulação da pasta de amendoim foi estabelecida com base em testes sensoriais preliminares. Essa concentração demonstrou conferir um gosto doce que se alinha ao perfil de produtos adoçados disponíveis comercialmente, sem sobrepor o sabor natural do amendoim. Adicionalmente, uma análise de rótulos de pastas de amendoim adoçadas no mercado brasileiro, realizada via consulta a tabelas nutricionais e listas de ingredientes em plataformas de varejo e informações públicas de fabricantes (Open Food Facts, 2025), indica que a proporção de açúcares adicionados geralmente varia entre 5% e 20% (m/m) do peso total. Observa-se que algumas marcas com sabores diferenciados (como cookies and cream, chocolate ou caramelo), podem apresentar concentrações mais elevadas. Assim, a concentração de 10% de adoçante utilizada neste estudo posiciona-se adequadamente dentro dessa faixa, buscando um equilíbrio que realça a doçura sem mascarar as características inerentes do amendoim.

Para a análise sensorial, as pastas de amendoim foram preparadas com os adoçantes um dia antes, armazenadas em embalagem plástica limpa e hermeticamente fechada, mantida em temperatura ambiente em local seco e fresco. No momento da análise, foram servidas porções de 25 g em copinhos descartáveis codificados.

4.6 Análise sensorial descritiva de gosto doce das misturas adoçantes e pasta de amendoim

4.6.1 Recrutamento e seleção do painel de avaliadores

O recrutamento e treinamento de avaliadores seguiu as normas técnicas indicadas na ABNT NBR ISO 8586 (2024). Primeiramente, foi realizado o recrutamento entre alunos de pós-graduação e servidores técnico-administrativos da UFU. Nesta etapa, foi aplicado um questionário, no qual foi solicitado ao avaliador que demonstrasse seu interesse e disponibilidade para participar dos testes sensoriais relacionados à análise sensorial descritiva, além de informar o quanto gosta ou desgosta de açúcar e produtos doces e sua frequência de consumo.

Os indivíduos que alegaram não gostar e/ou não consumir doces, ou ser portador de alguma patologia relacionada à ingestão desses alimentos, como diabetes ou alergias e intolerâncias a amendoim, foram eliminados. Os avaliadores que aceitaram participar e se adequaram aos critérios de inclusão preencheram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A) em duas vias. Foram recrutados 28 avaliadores.

Com a finalidade de avaliar a capacidade discriminativa dos avaliadores, a pré-seleção foi realizada por meio de aplicação do teste sensorial Diferença do Controle com relação à doçura. Para o referido teste foram utilizadas amostras de pasta de amendoim com diferentes teores de açúcar: 5%, 10% (padrão) e 15%. Para o desenvolvimento das formulações, foi realizada uma análise comparativa na base de dados pública Open Food Facts (2025) que serviu como referência para definir os parâmetros de açúcar adicionado em pasta de amendoim.

O Teste Diferença do Controle foi aplicado em cabines individuais e ambiente climatizado a 22 °C. As amostras foram codificadas com algarismos de três dígitos, avaliadas em bloco completo, e apresentadas de forma simultânea. A aleatorização foi realizada seguindo o delineamento Williams Latin Square, gerado no software R (versão 4.5.0; R Core Team, Viena, Áustria), assegurando equilíbrio na posição e sequência das amostras entre os 28 provadores.

Entre a avaliação de cada amostra de pasta de amendoim, foi implementado um protocolo rigoroso de limpeza do paladar, visando minimizar o efeito de arrasto e garantir a acurácia das percepções sensoriais. Os avaliadores foram instruídos a, primeiramente, tomar um gole de água em temperatura ambiente para iniciar a remoção dos resíduos da boca. Em seguida, consumiam um pedaço de pão de forma sem casca, cuja textura e sabor neutros e capacidade absorvente auxiliavam na remoção de gorduras e demais resíduos da matriz alimentar. O processo de rinse era finalizado com um segundo gole de água em

temperatura ambiente, garantindo a completa limpeza do paladar e o preparo para a avaliação da amostra subsequente.

Foi empregada a ficha apresentada na Figura 2 e o teste foi realizado em três repetições.

Figura 2 – Ficha do teste diferença do controle para pré-seleção dos avaliadores.

Nome: _____ Data: _____									
<p>Você está recebendo uma amostra padrão (P) e três amostras codificadas de pasta de amendoim. Por favor, prove a amostra padrão e em seguida prove cada uma das amostras codificadas, da esquerda para a direita. Avalie, utilizando a escala abaixo, o quanto cada amostra difere da amostra padrão (P) em relação à <u>DOÇURA</u>.</p>									
<p>9 = extremamente mais doce que P</p> <p>8 = muito mais doce que P</p> <p>7 = moderadamente mais doce que P</p> <p>6 = ligeiramente mais doce que P</p> <p>5 = doçura igual a P</p> <p>4 = ligeiramente menos doce que P</p> <p>3 = moderadamente menos doce que P</p> <p>2 = muito menos doce que P</p> <p>1 = extremamente menos doce que P</p>	<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="padding: 5px;">AMOSTRAS</th> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">356:</td> <td style="border: none; text-align: right; padding: 5px;">_____</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">528:</td> <td style="border: none; text-align: right; padding: 5px;">_____</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">742:</td> <td style="border: none; text-align: right; padding: 5px;">_____</td> </tr> </table>	AMOSTRAS		356:	_____	528:	_____	742:	_____
AMOSTRAS									
356:	_____								
528:	_____								
742:	_____								

Inicialmente, foram excluídos os avaliadores que atribuíram notas diferentes de 4 (ligeiramente menos doce que P), 5 (doce igual a P) ou 6 (ligeiramente mais doce que P) para a amostra padrão codificada dentre as amostras avaliadas. Após esta etapa de exclusão inicial, os resultados dos avaliadores foram submetidos à análise de variância fator duplo, considerando-se amostra e repetição como fontes de variação. Foram pré-selecionados os avaliadores que obtiveram pamostra $\leq 0,30$ e prepetição $> 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software R (versão 4.5.0; R Core Team, Viena, Áustria). Dos 28 avaliadores recrutados inicialmente, 17 foram pré-selecionados.

4.6.2 Definição dos atributos de gosto doce

Os atributos sensoriais relacionados à doçura, incluindo suas definições técnicas, foram estabelecidos conforme a metodologia de Meilgaard, Civille e Carr (2015), e

encontram-se detalhados na Tabela 2. As referências de intensidade mínima e máxima de cada atributo foram determinadas por meio de consenso em reunião com o painel de avaliadores, garantindo a uniformidade e reprodutibilidade das avaliações.

Tabela 2. Definição dos atributos relacionados a doçura.

Atributo	Definição Técnica	Referências
Intensidade de doçura	Grau de percepção do gosto doce, estimulado primariamente pelos receptores gustativos da língua (T1R2/T1R3), independentemente de aroma ou textura.	Pouco: pepino; Muito: leite condensado
Persistência da doçura	Tempo que a sensação de doçura permanece após a deglutição do produto.	Pouco: melão; Muito: doce de leite

Fonte: elaborado pela autora.

Também foi elaborada a ficha de avaliação de doçura (Figura 3), empregando-se ao lado de cada atributo uma escala linear não estruturada de 9 cm, ancorada no extremo esquerdo pelo termo “pouco” e no extremo direito pelo termo “muito”.

Figura 3. Ficha de avaliação da doçura das soluções de sacarose durante o treinamento.

Nome: _____ Data: _____

Amostra nº _____

Intensidade de doçura

|

|

Pouco
Muito

Persistência da doçura

|

|

Pouco
Muito

Agradabilidade da doçura

|

|

Pouco
Muito

Sabor doce total

|

|

Pouco
Muito

Na primeira sessão de treinamento, foi aplicada uma ficha (Anexo A) para treinamento do uso da escala linear não estruturada de 9 cm. Foi solicitado aos avaliadores que representassem na escala não estruturada a área hachurada da figura ao lado em uma escala linear de 9 cm de acordo com sua própria percepção de intensidade (Meilgaard; Civille; Carr, 2015). Esta atividade teve por intuito desenvolver a capacidade de proporcionalidade e intensidade em relação aos extremos da escala.

Durante o treinamento, os julgadores provaram amostras de água com açúcar com diferentes concentrações e classificaram a intensidade de acordo com a Tabela 3. A ficha de avaliação encontra-se ilustrada no Apêndice B.

Tabela 3. Soluções-padrão de sacarose utilizadas para ancoragem do gosto doce.

Concentração de Sacarose (% p/v)	Intensidade esperada
0,00%	Nenhuma
5,00%	Fraca
10,00%	Moderada
15,00%	Intensa
20,00%	Muito intensa

Após cada avaliação, a concentração real da solução foi revelada, e a intensidade esperada foi discutida coletivamente com os participantes, permitindo o realinhamento perceptivo entre os avaliadores. Essa abordagem, baseada na apresentação de estímulos-padrão com feedback imediato, visou promover a uniformidade de percepção dos provadores e aumentar a precisão das respostas sensoriais (Meilgaard; Civille; Carr, 2015).

A etapa de treinamento do painel sensorial demandou seis sessões, sendo que em cada sessão foram analisadas três amostras para reduzir a fadiga sensorial. Amostras de pasta de amendoim com diferentes quantidades de açúcar foram codificadas com algarismos de três dígitos, e apresentadas de forma monádica e aleatória. A aleatorização foi realizada seguindo um delineamento Williams Latin Square, no programa R (versão 4.5.0; R Core Team, Viena, Áustria). Todas as sessões de treinamentos foram realizadas em grupo e os avaliadores provavam as referências representantes dos extremos da escala de cada atributo a fim de memorizá-los, e, em seguida, provavam a amostra.

Após a etapa de treinamento, os avaliadores foram submetidos a uma etapa de seleção para avaliação da capacidade de discriminação das amostras, repetibilidade de resultados e consenso entre o indivíduo e o painel sensorial. Os resultados de cada avaliador foram submetidos à análise de variância fator duplo, com amostra e repetição como fontes de variação. Foram selecionados para a avaliação final os avaliadores que apresentaram p amostra $\leq 0,30$ e p repetição $> 0,05$ para todos os atributos.

Para avaliar o consenso entre o indivíduo e o painel sensorial, foram obtidos os coeficientes de correlação de Pearson entre os valores de cada indivíduo e os valores médios obtidos pelo painel sensorial para cada atributo, e contemplando todas as amostras (Minim; Silva, 2016). Foram selecionados os avaliadores que apresentaram coeficiente de correlação com o painel sensorial $\geq 0,70$ ao nível de significância de 0,05. As análises de correlação de Pearson foram realizadas por meio do programa R (versão 4.5.0; R Core Team, Viena, Áustria). As funções `cor()` e `cor.test()` foram utilizadas para o cálculo do coeficiente de correlação e para a verificação da significância estatística, respectivamente.

De forma geral, houve consenso entre os avaliadores e o painel sensorial para todos os atributos avaliados com exceção dos avaliadores A7 e A8 que não apresentaram consenso para persistência e intensidade de doçura, e sendo essas características muito importantes para o estudo, ambos foram desclassificados do painel sensorial.

O painel sensorial final foi constituído por 15 avaliadores, com idades variando entre 25 e 37 anos, dos quais 73,3% ($n=11$) eram do sexo feminino. No que tange à preferência por doces, observou-se que 80,0% ($n=12$) dos participantes manifestaram gostar muito ou muitíssimo, enquanto os 20,0% restantes ($n=3$) apresentavam preferência moderada ou baixa. Adicionalmente, todos os avaliadores demonstravam ser consumidores habituais de doces em geral, sendo que a maioria, 86,7% ($n=13$), os consumia com frequência mínima semanal, e os 13,3% restantes ($n=2$), pelo menos uma vez a cada quinzena. A ficha de caracterização utilizada está ilustrada no Apêndice D.

4.7 Descrição do perfil de doçura das misturas adoçantes e da pasta de amendoim.

O perfil sensorial de gosto doce das amostras foi determinado pelos avaliadores treinados e selecionados, em três repetições, com avaliação de 3 amostras em cada sessão, sendo necessárias 20 sessões para a avaliação de todas as amostras (10 adoçantes e 10 pastas de amendoim). Foram realizadas duas sessões por dia, sendo uma no período da

manhã e uma no período da tarde. A aleatorização das amostras foi realizada seguindo um delineamento Williams Latin Square.

As amostras foram apresentadas em copos descartáveis contendo três gramas de mistura adoçante em pó, codificadas com algarismos de três dígitos, de forma monádica. Junto com as amostras, foi disponibilizado um copo de água para eliminar resíduos da boca entre a avaliação de uma amostra e a subsequente.

4.8 Análise de aceitação da pasta de amendoim

Setenta e sete consumidores foram recrutados entre funcionários e estudantes de graduação do Instituto Federal de Goiás - Campus Itumbiara. Previamente à participação, todos os indivíduos consentiram voluntariamente com o estudo, formalizando sua adesão por meio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, preenchido em duas vias. Em seguida, os participantes responderam a um questionário para caracterização do grupo de consumidores. Foram excluídos os indivíduos que relataram baixa preferência ou aversão a alimentos doces, bem como aqueles que apresentavam patologias ou condições de saúde que contraindicavam o consumo dos produtos avaliados, tais como alergias, intolerâncias ou diabetes.

O painel final caracterizou-se por uma faixa etária entre 18 e 47 anos, com predominância do sexo feminino (75,3%; n=58). Em relação à preferência por alimentos doces, 90,9% (n=70) dos avaliadores indicaram gostar muito ou muitíssimo, enquanto os 9,1% restantes (n=7) relataram gostar moderadamente. A totalidade dos participantes declarou-se consumidora habitual de doces em geral, sendo que 68,8% (n=53) os consumiam com frequência mínima semanal, e os 31,2% restantes (n=24), pelo menos uma vez a cada quinzena (Apêndice D).

As diferentes formulações de pasta de amendoim foram avaliadas quanto à aceitação sensorial de gosto doce, considerando os atributos utilizados na análise descritiva (Tabela 2), além da avaliação de doçura de forma geral, por meio de escala hedônica estruturada de nove pontos (Figura 4), variando de 1- desgostei extremamente a 9- gostei extremamente (Meilgaard; Civille; Carr, 2015).

Para este teste, um subconjunto de seis amostras de pasta de amendoim foi cuidadosamente selecionado, representando as condições mais relevantes do estudo e visando otimizar a experiência do avaliador e a eficiência da coleta de dados. As amostras selecionadas incluíram os controles de adoçantes puros – T1 (AA): Sacarose pura

triturada e T6 (XX): Xilitol puro triturado – e as formulações obtidas por co-moagem com os carreadores, que demonstraram ser as de maior potencial de dissolução e amorfização superficial: T3 (ASco): Sacarose + SP; T5 (ACco): Sacarose + CMC; T8 (XScó): Xilitol + SP e T10 (XCco): Xilitol + CMC. Esta seleção permitiu comparar a aceitação dos adoçantes em seu estado puro com as formulações, bem como a influência de cada carreador e adoçante no perfil de doçura percebida na pasta de amendoim.

As amostras de pasta de amendoim, na quantidade de 25 gramas por porção, foram apresentadas individualmente em copos descartáveis de 50 mL, codificados com algarismos de três dígitos. A apresentação das amostras foi realizada de forma monádica, balanceada e aleatória, seguindo um delineamento Williams Latin Square, gerado no programa R (versão 4.5.0; R Core Team, Viena, Áustria). Para minimizar a fadiga sensorial e a saturação do paladar dos avaliadores, o teste foi dividido em duas sessões. Em cada sessão, os participantes receberam 3 amostras por vez. Entre a avaliação de cada amostra, foi oferecido um copo de água em temperatura ambiente, pão de forma de sabor neutro e indicado como proceder a limpeza do palato assim como feito com os avaliadores treinados.

Figura 4. Ficha de aceitação das amostras de pasta de amendoim.

Nome: _____

Amostra N°: _____

Você está recebendo uma amostra de pasta de amendoim. Indique, utilizando a escala de nove pontos, o quanto você gosta ou desgosta dessa amostra:

9 - gostei extremamente

8 - gostei muitíssimo

7 - gostei moderadamente

6 - gostei levemente

5 - não gostei nem desgostei

4 - desgostei levemente

3 - desgostei moderadamente

2 - desgostei muitíssimo

1 - desgostei extremamente

Prove novamente a mesma amostra, e indique o quanto você gosta ou desgosta das seguintes características abaixo, utilizando a mesma escala de nove pontos:

- Textura da amostra: _____

- Intensidade do gosto doce: _____

- O quanto o gosto doce persiste na sua boca: _____

- O quanto gosta, de forma geral, desta amostra: _____

Fonte: Elaborada pela autora

4.9 Análises estatísticas

As médias obtidas para a análise sensorial descritiva foram comparadas por meio de análise de variância fator duplo para os fatores avaliador e amostra, além da interação entre os fatores, com a finalidade de eliminar a interferência desta interação nos dados sensoriais (Minim; Silva, 2016), seguida do teste de Tukey. Já as médias da aceitação sensorial foram analisadas por meio de análise de variância fator duplo, considerando

consumidor e amostra como fontes de variação, seguida do teste de Tukey. Todos os testes de comparação de médias foram realizados usando nível de significância de 0,05.

Os resultados da análise descritiva e de aceitação foram correlacionados por meio de análise de componentes principais, em que as variáveis foram alocadas nas colunas e as médias das amostras nas linhas. Antes de iniciar a análise, os dados das colunas foram padronizados. Os fatores foram extraídos a partir da matriz de correlação, e não foi aplicada rotação de fatores. A análise de componentes principais foi realizada por meio do programa PAST (versão 4.13; Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D.)

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Morfológica das Amostras por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise por MEV permitiu visualizar qualitativamente o impacto das diferentes metodologias de processamento – moagem individual e co-moagem – na morfologia de superfície, tamanho e forma das partículas de sacarose e xilitol, além de elucidar a homogeneidade da mistura e a natureza das interações entre os adoçantes e os carreadores. Tais informações são fundamentais para compreender os mecanismos subjacentes às variações nas propriedades físico-químicas e sensoriais das formulações.

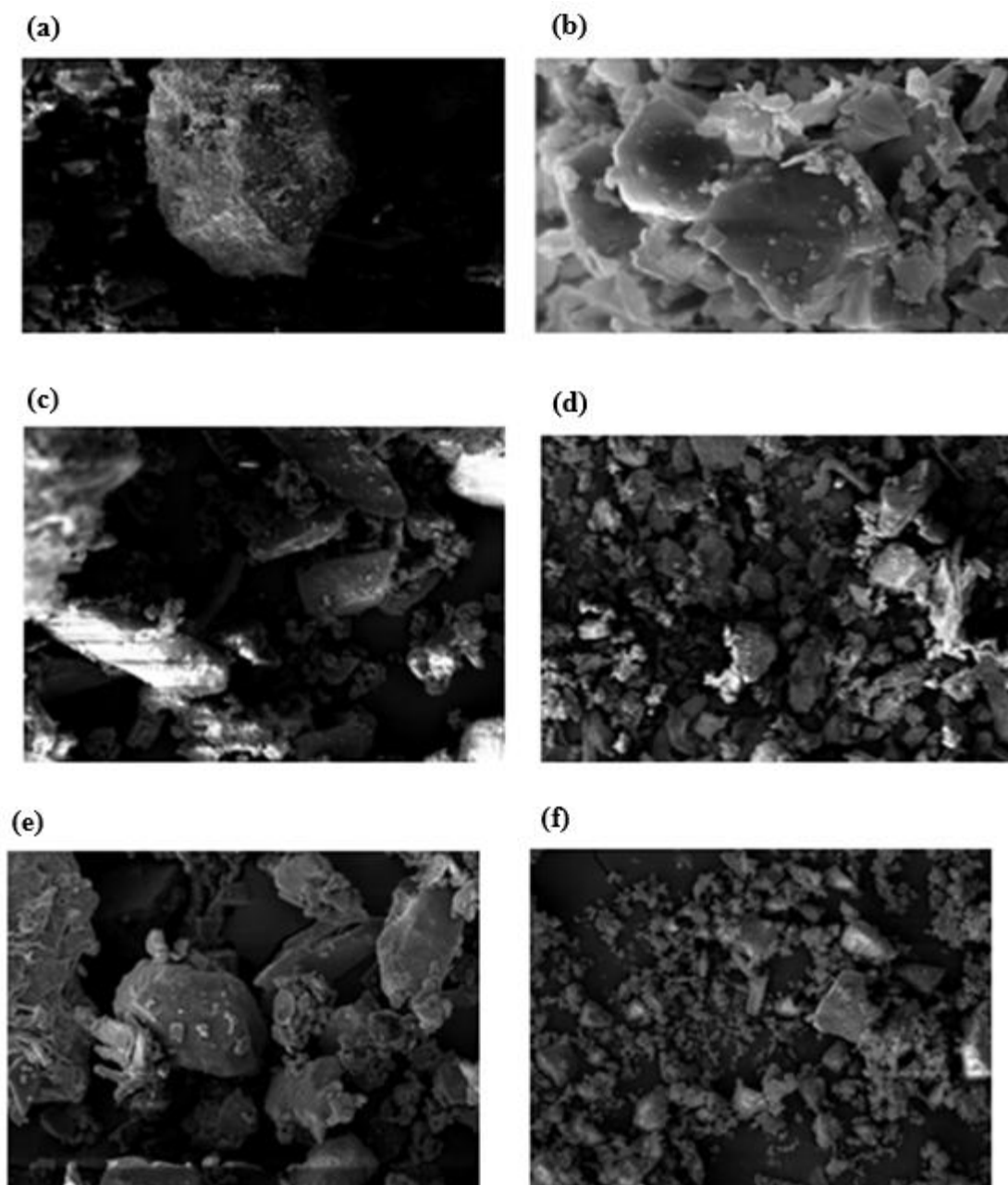
A morfologia dos adoçantes, incluindo seu tamanho e forma, influencia significativamente suas taxas de dissolução. Por exemplo, maltodextrinas com vários graus de equivalente de dextrose (DE) mostraram que níveis aumentados de DE resultaram em tempos de dissolução mais rápidos devido às suas formas esféricas e irregulares, que melhoram as propriedades umectantes (Takeiti et al., 2010). Modificações morfológicas podem aumentar a área de superfície dos adoçantes, facilitando a dissolução mais rápida em soluções, o que é essencial para atingir rapidamente os níveis de doçura desejados (Zhang, 2015).

Diferentes adoçantes exibem perfis sensoriais únicos influenciados por sua morfologia. Por exemplo, o estudo sobre aspartame e estévia revelou que variações na concentração alteraram atributos sensoriais como doçura e sabor residual, que estão ligados às características físicas dos adoçantes e a morfologia desses adoçantes pode

afetar sua sensação na boca e sua aceitabilidade geral, afetando as preferências do consumidor e o sucesso do mercado (Pasha et al., 2021).

A Figura 5 apresenta, nas subfiguras (a)–(d), as micrografias obtidas por MEV.

Figura 5 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).



Sendo: (a) sacarose pura triturada (T1: AA); (b) xilitol puro triturado (T6: XX); (c) sacarose + SP, moagem separada (T2: AS); (d) sacarose + CMC, moagem separada (T4: AC); (e) xilitol + SP, moagem separada (T7: XS); (f) xilitol + CMC, moagem separada (T9: XC). Todas as micrografias foram obtidas com aumento de 2000x.

A análise morfológica da amostra T1 (AA - sacarose pura triturada) por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) revelou características que confirmam o impacto da moagem em um material cristalino. As partículas apresentaram uma morfologia predominantemente poligonal e de grandes dimensões, exibindo arestas retas e contornos bem definidos, típicos de uma estrutura cristalina intacta. A superfície das partículas mostrou-se relativamente lisa, com a presença de poucos poros visíveis. Embora a moagem tenha promovido a redução do tamanho das partículas, a manutenção de suas características cristalinas marcantes, como a forma poliédrica e a lisura superficial, indica que o processo de moagem preservou em grande parte a estrutura cristalina da superfície exposta.

A amostra T6 (XX - xilitol puro triturado) revelou, sob análise de MEV, a persistência de cristais bem definidos, caracterizados por uma morfologia planar e empacotada. A superfície das partículas de xilitol mostrou-se predominantemente lisa e com angulações nítidas, indicando a preservação de sua estrutura cristalina. No entanto, é comum observar a formação de aglomerados secundários de partículas menores, resultantes da alta energia de moagem e das forças de coesão, bem como a possível indução de pequenas regiões de desordem ou amorfização superficial. A presença de cristais visíveis e arranjo compactado reforça a alta cristalinidade inerente do xilitol como um poliol, enquanto as características de aglomeração e potencial desordem superficial são cruciais para a compreensão de suas propriedades funcionais e reatividade em misturas futuras.

A análise por MEV das amostras submetidas à moagem separada com os carreadores T2 (AS - sacarose + SP), T4 (AC - sacarose + CMC), T7 (XS - xilitol + SP) e T9 (XC - xilitol + CMC), revelou características morfológicas típicas de uma mistura física (Figuras 7, 8, 9 e 10). Nestas formulações, as partículas dos adoçantes e dos respectivos carreadores mantiveram suas identidades individuais, sendo visivelmente distintas, apesar da maceração subsequente. Este método de preparo resultou na simples combinação dos pós já moídos, promovendo um contato primariamente superficial e mecânico entre as partículas.

Ao comparar as interações com a sílica precipitada (SP) nas amostras T2 (AS) e T7 (XS), observou-se que as partículas esféricas/irregulares e de alta área superficial da SP tendem a se distribuir sobre as superfícies dos adoçantes, atuando como agentes antiaglomerantes. Embora a sílica auxilie na dispersão, não há evidência de uma adesão íntima ou de encapsulamento completo das partículas do adoçante, mantendo-se como

uma cobertura externa. A interação com a celulose microcristalina (CMC) nas amostras T4 (AC) e T9 (XC) mostrou as fibras fragmentadas de CMC misturadas com as partículas dos adoçantes. A natureza fibrosa da CMC pode facilitar o emaranhamento mecânico com as partículas do adoçante, criando uma rede que pode auxiliar na coesão da mistura, mas sem indicar uma adesão superficial forte. É documentado que em solução aquosa ela forma redes poliméricas que aumentam a viscosidade e podem fisicamente reter partículas dispersas, favorecendo a coesão da mistura sem necessariamente promover adesão química forte (Imeson, 2009).

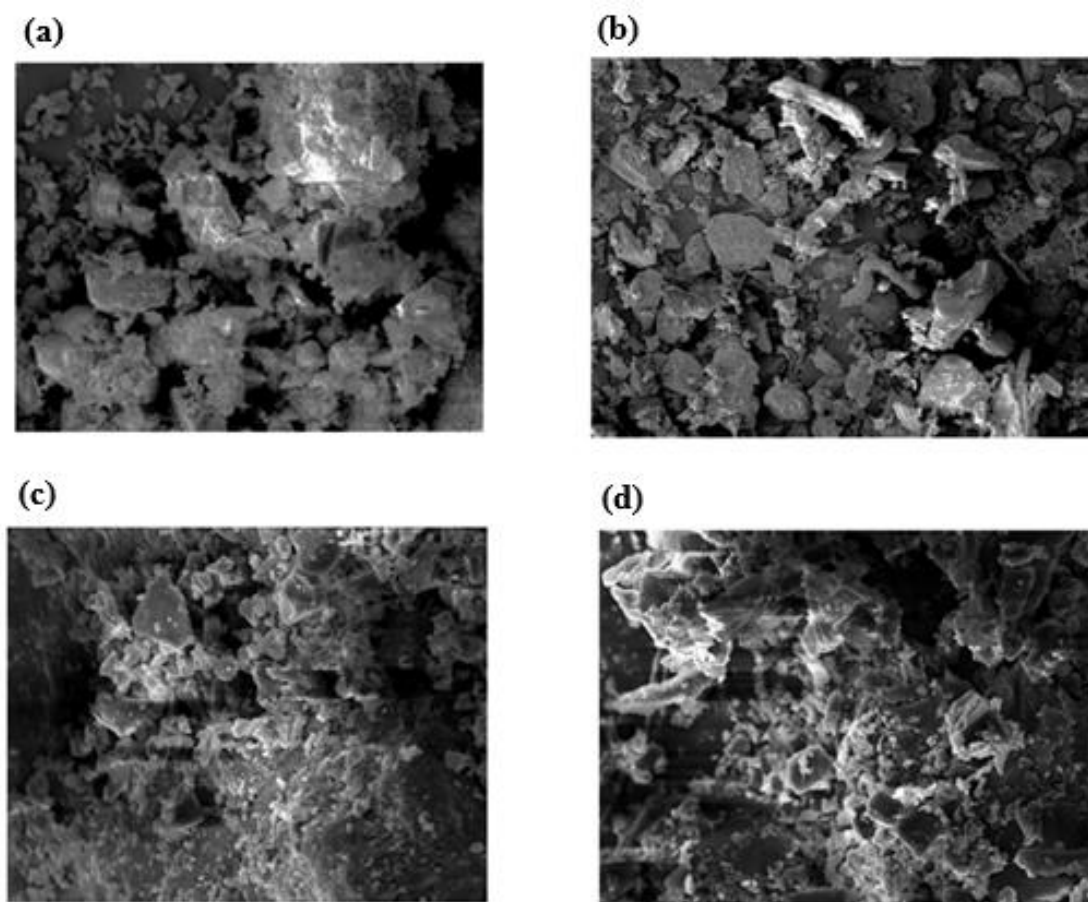
A comparação entre as amostras de sacarose (T2, T4) e xilitol (T7, T9) neste grupo de moagem separada sugere que a morfologia do xilitol moído – potencialmente mais amorfa ou com contornos menos angulares em comparação com a sacarose – pode influenciar sutilmente a distribuição e o nível de contato com os carreadores. Contudo, em ambos os casos, a predominância de uma mistura física limita a extensão das interações.

Em contraste com as misturas obtidas por moagem separada, a análise por MEV das amostras submetidas à co-moagem — T3 (ASco - sacarose + SP), T5 (ACco - sacarose + CMC), T8 (XScó - xilitol + SP) e T10 (XCco - xilitol + CMC) — revelou uma maior homogeneidade da mistura e uma adesão significativamente mais íntima entre o adoçante e o carreador (Figura 6).

Este processamento simultâneo induz maior ativação superficial e interações que favorecem a formação de partículas compósitas, onde o carreador reveste a superfície do adoçante de forma coesa. A ativação mecanoquímica envolve o uso de energia mecânica para induzir reações químicas e mudanças estruturais nos materiais. Esse processo pode levar à formação de estados amorfos, aumento da área superficial e maior solubilidade, e é comumente aplicado em produtos farmacêuticos quando misturado com excipientes (Kalt et al., 2018).

Ao comparar as interações com a sílica precipitada (SP) nas amostras T3 (ASco) e T8 (XScó), observou-se um revestimento notavelmente mais uniforme e íntimo das partículas de SP sobre as superfícies dos adoçantes em relação às suas contrapartes de moagem separada (T2 e T7). Essa maior intimidade na distribuição da SP, facilitada pela criação de superfícies mais reativas durante a co-moagem, indica uma maior ativação superficial e um potencial aprimorado para a molhabilidade e dispersão dos pós (Hiew et al., 2025).

Figura 5 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).



Sendo: (a) Sacarose + sílica precipitada (Co-moagem – T3: ASco); (b) Sacarose + celulose microcristalina (Co-moagem – T5: ACco); (c) Xilitol + sílica precipitada (Co-moagem – T8: XSco); (d) Xilitol + celulose microcristalina (Co-moagem – T10: XCco). Todas as micrografias foram obtidas com aumento de 2000x.

Por sua vez, as amostras co-móidas com celulose microcristalina (CMC), T5 (ACco) e T10 (XCco), exibiram um efeito ainda mais pronunciado. Nota-se que as fibras de CMC foram fragmentadas, formando um emaranhamento com as partículas do adoçante.

Na comparação entre a sacarose (T3, T5) e o xilitol (T8, T10) dentro do grupo de co-moagem, as imagens de MEV do xilitol (T8: XSco e T10: XCco) frequentemente apresentaram evidências visuais de maior amorfização superficial nas partículas de xilitol, em contraste com a sacarose co-móida. A superfície do xilitol em algumas regiões pode parecer mais "lisa" ou "vítrea", o que é indicativo de plasticidade e desordem estrutural induzidas pelo processo mecanoquímico. Essa observação é crucial, pois uma

maior amorfização superficial sugere uma interação ainda mais intensa com o carreador e, potencialmente, maior reatividade e velocidade de dissolução.

A natureza de sacarose, xilitol e CMC, todos ricos em grupos hidroxila (-OH), torna as ligações de hidrogênio o principal mecanismo de interação intermolecular (Stephen; Phillips; Williams, 2006). No contexto da co-moagem, a intensa ativação superficial facilita a formação extensiva de novas e mais fortes ligações de hidrogênio entre o adoçante e a CMC. Esse fenômeno molecular é de grande relevância, uma vez que Yu et al (2019) mostraram em simulações de dinâmica molecular que modificações específicas nas ligações de hidrogênio podem levar a mudanças significativas na cristalinidade e estabilidade dos materiais de carboidratos. Este princípio fundamental explica a formação da estrutura compósita observada nas amostras com CMC, onde as novas interações de hidrogênio podem estabilizar fases amorfas induzidas pela moagem (um processo conhecido por desordenar a rede de ligações H cristalinas) ou atuar como modificadores de cristalinidade, influenciando a reatividade superficial. Adicionalmente, as ligações de hidrogênio formadas entre o adoçante e a CMC não apenas afetam a estrutura, mas também a estabilidade da formulação final, por exemplo, em relação à recristalização do adoçante ou à higroscopicidade. Essa compreensão molecular da formação da estrutura compósita é crucial para explicar as propriedades funcionais aprimoradas, como a velocidade de dissolução de tais amostras.

Em suma, a análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) permitiu visualizar e compreender as principais tendências morfológicas resultantes dos diferentes métodos de processamento, que impactam diretamente as propriedades funcionais das formulações. Primeiramente, entende-se que a co-moagem foi mais eficaz que a moagem separada na promoção de interações e na formação de partículas compósitas entre os adoçantes e os carreadores. Em segundo lugar, a natureza do carreador demonstrou resultar em padrões de interação distintos: enquanto a sílica precipitada (SP) formou revestimentos mais uniformes nas partículas dos adoçantes, a celulose microcristalina (CMC) induziu um emaranhamento e a formação de uma matriz mais densa. Por fim, a observação de que o xilitol reage de forma diferenciada à moagem e co-moagem em comparação com a sacarose, com maior evidência de amorfização superficial, é um achado significativo que pode influenciar sua reatividade e solubilidade.

Essas distinções morfológicas e as interações observadas por MEV possuem implicações diretas nas propriedades funcionais das formulações. A maior área superficial exposta, a ativação mecanoquímica das superfícies (especialmente pela co-

moagem), a formação de fases mais amorfas (particularmente no xilitol) e as interações íntimas com carreadores hidrofílicos (como a CMC) são fatores que, em conjunto, são esperados para aprimorar significativamente a molhabilidade, a adesão interpartículas e, consequentemente, a velocidade de dissolução dos adoçantes (Hiew et al., 2025).

Embora a análise morfológica forneça informações valiosas sobre as propriedades funcionais dos adoçantes, é essencial considerar que as experiências sensoriais também são influenciadas pelas percepções individuais do paladar e por fatores culturais, que podem não ser totalmente capturados apenas por estudos morfológicos. A próxima seção aprofundará a discussão sobre como essas características influenciam a percepção sensorial do gosto doce, tanto nos adoçantes puros quanto quando incorporados à matriz de pasta de amendoim.

5.2 Perfil sensorial das misturas adoçantes

Na Análise Descritiva Quantitativa, foram avaliados especificamente a intensidade e a persistência do gosto doce nas misturas adoçantes (Tabela 5).

Tabela 5 - Intensidade dos atributos sensoriais dos adoçantes (média \pm desvio-padrão; n = 45).

Amostra	Persistência	Intensidade
AA	7,58 ^a \pm 0,56	5,9 ^c \pm 0,86
AS	5,29 ^d \pm 0,93	6,08 ^c \pm 0,62
ASco	5,07 ^d \pm 1,22	7,38 ^a \pm 0,53
AC	6,30 ^c \pm 1,12	5,81 ^c \pm 0,87
ACco	4,75 ^d \pm 1,22	6,42 ^b \pm 1,08
XX	7,12 ^{ab} \pm 0,98	5,98 ^c \pm 0,78
XS	6,46 ^{bc} \pm 1,15	5,91 ^c \pm 0,79
XSco	3,24 ^f \pm 1,17	6,62 ^b \pm 0,88
XC	6,85 ^{bc} \pm 1,17	5,63 ^d \pm 0,82
XCco	3,94 ^e \pm 1,01	7,60 ^a \pm 0,60

Letras diferentes na mesma coluna significa diferença estatística a 5% de significância. AA: Sacarose Pura Triturada; AS: Sacarose + SP (Moagem Separada); ASco: Sacarose + SP (Co-moagem); AC: Sacarose + CMC (Moagem Separada); ACco: Sacarose + CMC (Co-moagem); XX: Xilitol Puro Triturado; XS: Xilitol + SP (Moagem Separada); XSco: Xilitol + SP (Co-moagem); XC: Xilitol + CMC (Moagem Separada); XCco: Xilitol + CMC (Co-moagem).

Neste estudo, a intensidade do gosto doce foi considerada o descritor sensorial correspondente à magnitude da percepção de doçura, medida por meio de escala não estruturada de 9 cm e a persistência do gosto doce foi considerada como a capacidade de a sensação de doçura se manter presente na boca após a deglutição, conforme percepção dos avaliadores e levando em consideração os extremos de mínimo e máximo definidos anteriormente.

A persistência do gosto doce mostrou variações significativas entre as formulações. As amostras com os maiores valores de persistência foram AA (sacarose pura, $7,58 \pm 0,56$) e XX (xilitol puro, $7,12 \pm 0,98$), indicando que a forma pura dos adoçantes, sem a influência de carreadores ou processamento adicional, mantém o estímulo doce por mais tempo. Em contraste, as amostras preparadas com co-moagem (XSco e XCco) apresentaram os menores valores de persistência. Esses resultados sugerem que a co-moagem acelera a dissolução dos adoçantes na saliva, resultando em menor tempo de estímulo gustativo.

De fato, o processo de co-moagem tem sido associado à redução do tamanho de partícula, aumento da área superficial e indução de regiões parcialmente amorfas, o que aumenta a taxa de dissolução de compostos sólidos, impactando diretamente a liberação sensorial de substâncias ativas (Slámová et al., 2021). Isso indica que a co-moagem compromete a duração da percepção doce, possivelmente por facilitar a solubilização do adoçante na boca e sua eliminação mais rápida da cavidade bucal.

A análise de intensidade de doçura também revelou diferenças entre as formulações. As amostras XCco e ASco apresentaram os maiores valores médios, constituindo um grupo com notas estatisticamente maiores que as demais. Esse resultado pode indicar que a co-moagem de sacarose ou xilitol com carreadores exerce efeito positivo sobre a intensidade de gosto doce. As outras duas amostras co-moídas, XSco e ACco, ficaram em segundo lugar com relação à intensidade de gosto doce, significativamente superior aos adoçantes puros, o que reforça que a presença do processamento (co-moagem) está associada à maior doçura.

Estudos demonstram que a co-moagem pode promover, além da redução do tamanho das partículas, a indução de desordem estrutural e a formação de regiões amorfas, resultando em alterações na taxa de dissolução dos compostos. Embora conduzido no contexto farmacêutico, tal mecanismo pode ser considerado análogo ao observado em açúcares, uma vez que a ativação da superfície decorrente da co-moagem pode igualmente modificar propriedades físico-químicas relevantes. (Slámová et al.,

2021; Silva et al., 2023). Partículas mais amorfas apresentam maior área de superfície, o que aumenta a taxa de dissolução das moléculas e, conseqüentemente, a interação com os receptores gustativos o que intensifica a percepção de doçura. Para adoçantes à base de xilitol, a interação aprimorada pela co-moagem com CMC ou SP pode modular a dissolução endotérmica (efeito refrescante), permitindo que a doçura se manifeste de forma mais proeminente e completa (Gliemmo et al., 2008).

5.3 Perfil sensorial da pasta de amendoim.

O perfil sensorial das amostras de pasta de amendoim, rica em lipídios e proteínas, adoçadas com as formulações preparadas foi descrito pela intensidade e persistência de doçura pelo painel de julgadores treinados (Tabela 6).

A persistência do gosto doce foi significativamente impactada pela matriz da pasta de amendoim. As amostras de adoçantes sem carreador (AA e XX), e as amostras de xilitol com carreadores XS e XC apresentaram as maiores notas para este atributo. Em contraste, as amostras AS e XSc apresentaram as menores médias de notas atribuídas para a persistência, sugerindo um perfil de gosto doce que desaparece mais rapidamente.

Tabela 6 - Intensidade dos atributos sensoriais de pasta de amendoim preparada com os diferentes adoçantes (média \pm desvio-padrão; n = 45).

Pasta de amendoim	Persistência	Intensidade
AA	6,34 ^{ab} \pm 0,98	5,79 ^{bc} \pm 0,89
AS	4,57 ^{ef} \pm 1,28	5,90 ^b \pm 0,63
ASco	5,15 ^{de} \pm 1,38	7,12 ^a \pm 1,58
AC	5,60 ^{bcd} \pm 1,20	5,72 ^{bc} \pm 1,89
ACco	5,16 ^{de} \pm 1,29	6,08 ^b \pm 1,04
XX	6,40 ^a \pm 1,22	5,79 ^{bc} \pm 0,69
XS	6,06 ^{abc} \pm 1,12	5,77 ^{bc} \pm 0,77
XSc	4,08 ^f \pm 1,21	6,22 ^b \pm 0,98
XC	6,55 ^a \pm 0,99	5,29 ^c \pm 1,06
XCco	5,56 ^{cd} \pm 0,94	7,12 ^a \pm 0,63

Letras diferentes na mesma coluna significa diferença estatística a 5% de significância. AA: Sacarose Pura Triturada; AS: Sacarose + SP (Moagem Separada); ASco: Sacarose + SP (Co-moagem); AC: Sacarose + CMC (Moagem Separada); ACco: Sacarose + CMC (Co-moagem); XX: Xilitol Puro

Triturado; XS: Xilitol + SP (Moagem Separada); XSco: Xilitol + SP (Co-moagem); XC: Xilitol + CMC (Moagem Separada); XCco: Xilitol + CMC (Co-moagem).

Com relação à intensidade, que mede o pico da sensação de doçura, as amostras ASco e XCco se destacaram com as maiores pontuações. Este resultado confirma que o processo de co-moagem é eficaz para aumentar a intensidade de doçura, independentemente da base do adoçante (sacarose ou xilitol) ou do carreador.

As amostras XC e AC, que não foram submetidas à co-moagem, apresentaram pontuações de intensidade mais baixas. O valor da amostra XC (5,29c) foi o mais baixo entre todas as formulações, indicando que a combinação de xilitol e celulose sem o processamento de co-moagem é a menos eficaz para a intensidade de doçura na pasta de amendoim.

Em síntese, a interação entre o adoçante e a complexa matriz de pasta de amendoim tem um impacto decisivo no perfil de doçura final. Os dados demonstram que a co-moagem é um fator crítico para alcançar a maior intensidade de doçura. No entanto, sua eficácia na persistência do sabor parece ser inversa, especialmente para a formulação com xilitol, sílica e co-moagem. Isso sugere a necessidade de avaliar cada formulação individualmente, considerando o tipo de adoçante, carreador e a matriz alimentar.

A matriz de pasta de amendoim, sendo predominantemente lipídica, exerce um efeito de encapsulamento e aprisionamento sobre os adoçantes hidrossolúveis, como a sacarose e o xilitol. A baixa solubilidade desses compostos na fase oleosa limita sua liberação para a saliva e, conseqüentemente, a interação com os receptores gustativos na cavidade oral. Essa limitação de acesso resulta em uma percepção de intensidade de doçura significativamente atenuada em comparação com as formulações em sua forma pura. Adicionalmente, o encapsulamento do adoçante pela matriz lipídica pode atuar como um mecanismo de liberação controlada, prolongando a persistência do sabor, mesmo que em um nível de intensidade menor. Dessa forma, as propriedades físico-químicas da matriz alimentar emergem como um fator crítico na modulação do perfil sensorial de doçura, influenciando diretamente a liberação e a percepção dos edulcorantes (Loubens et al., 2011).

5.4 Aceitação do gosto doce de pasta de amendoim

As médias referentes ao grau de aceitação dos atributos sensoriais das pastas de amendoim formuladas com diferentes adoçantes (Tabela 7) variaram entre 5,09 e 8,53, correspondendo respectivamente às categorias “não gostei nem desgostei” e entre “gostei muitíssimo” e “gostei extremamente” na escala hedônica de nove pontos. A análise foi conduzida com 77 consumidores, considerando os atributos de textura, intensidade do gosto doce e persistência do gosto doce. As diferenças estatisticamente significativas entre as amostras foram determinadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), conforme indicado pelas letras sobscritas nas médias.

Tabela 7 - Aceitação de gosto doce das pastas de amendoim com diferentes adoçantes (média \pm desvio-padrão; $n = 77$).

Amostra	Textura	Intensidade	Persistência
AA	8,53 ^a \pm 0,27	8,60 ^a \pm 0,16	6,8 ^c \pm 0,31
ASco	6,77 ^c \pm 0,44	8,41 ^a \pm 0,44	7,16 ^b \pm 0,77
ACco	5,09 ^e \pm 0,77	8,28 ^{ab} \pm 0,75	7,18 ^b \pm 0,66
XX	8,0 ^b \pm 0,30	7,98 ^b \pm 0,73	7,66 ^a \pm 0,69
XSco	6,97 ^{bc} \pm 0,32	7,77 ^b \pm 0,59	7,22 ^b \pm 0,67
XCco	5,39 ^d \pm 0,44	8,49 ^a \pm 0,55	7,12 ^b \pm 0,72

AA: Sacarose Pura Triturada; AS: Sacarose + SP (Moagem Separada); ASco: Sacarose + SP (Co-moagem); ACco: Sacarose + CMC (Co-moagem); XX: Xilitol Puro Triturado; XSco: Xilitol + SP (Co-moagem); XCco: Xilitol + CMC (Co-moagem).

A análise dos dados da Tabela 7 revela diferenças significativas entre as amostras em relação à textura, intensidade de doçura percebida e persistência do gosto doce.

A textura é um atributo sensorial crítico para a aceitação da pasta de amendoim, sendo sensível à incorporação de adoçantes e aditivos que podem modificar seu comportamento na boca. A amostra AA apresentou a maior nota de textura, diferindo significativamente de todas as demais, o que sugere que a formulação padrão com sacarose sem misturas, manteve melhor aceitação neste atributo. A amostra XX também apresentou boa aceitação de textura, sendo a segunda maior nota, apenas inferior a AA.

Já as amostras com co-moagem de celulose (ACco e XCco) foram as que tiveram menor aceitação de textura, indicando que a presença de celulose em co-moagem afetou negativamente a textura da pasta de amendoim. Estudos indicam que produtos com

sacarose tendem a apresentar maior aceitabilidade sensorial em comparação a adoçantes alternativos, podendo ser atribuída à combinação de gosto doce familiar e características tecnológicas como textura e estabilidade (Rutkowska et al., 2023).

Com relação à aceitação de intensidade de gosto doce, três amostras apresentaram valores estatisticamente mais altos e semelhantes: AA, ASco, ACco e XCco. Lembrando que estes resultados não consistem em definição de amostra mais doces, mas sim de amostras mais aceitas pelo consumidor. É interessante que igualmente ao açúcar puro (AA), outras três amostras com adoçante co-móido, sendo as duas com açúcar e uma com xilitol, foram igualmente aceitas com notas que estão entre “gostei muitíssimo” e “gostei extremamente”. As menores notas para intensidade foram observadas em XX e XScó, que ficaram estatisticamente iguais entre si, mostrando que o xilitol puro ou co-móido com sílica apresentaram aceitação correspondente a “gostei moderadamente” e “gostei muitíssimo”.

Quanto à persistência de gosto doce, a amostra XX apresentou a maior nota de aceitação, sendo estatisticamente diferente das demais, sugerindo que o xilitol confere uma melhor duração da percepção de doçura. O grupo intermediário composto pelas amostras ASco, ACco, XScó, XCco apresentou valores semelhantes, sem diferenças significativas entre si e a amostra AA apresentou a menor aceitação para persistência, mostrando que, apesar da intensidade maior, em comparação às outras amostras, a sacarose não manteve o gosto doce pelo tempo ideal para os consumidores.

Dado que os quimiorreceptores do gosto doce na cavidade oral estão principalmente imersos em saliva à base de água, acredita-se que a solubilidade desempenhe um papel crucial na percepção do gosto doce (Karl et al., 2022). Zhang et al. (2024) apontaram que a doçura relativa dos açúcares estava associada à presença de grupos funcionais, especialmente grupos hidroxila, dentro da configuração estereoquímica.

Quando a sacarose é moída junto com sílica precipitada, o aumento da quantidade de grupos hidroxila (-OH) na superfície pode ocorrer devido à ativação da superfície da sílica. Durante o processo de moagem, a alta energia mecânica pode quebrar as ligações na superfície, resultando em novas regiões reativas expostas, muitas das quais se hidroxilam quando em contato com a umidade ambiental. Esse fenômeno de aumento de grupos hidroxila na superfície da sílica é bem documentado em estudos sobre superfícies de sílica amorfa e sua interação com água (Zhang et al., 2021). Além disso, alguns estudos mencionam que a modificação superficial da sílica, como observado na adição de

compostos químicos ou processos físicos, pode aumentar a hidroxilação, especialmente em processos de moagem e mistura intensivos. Esses achados indicam que, embora a sacarose não seja diretamente responsável pela formação de novos grupos hidroxila, a interação mecânica com a sílica precipitada pode sim expor mais grupos hidroxila na superfície das partículas da mistura, favorecendo o sentido de gosto doce (Gomes et al., 2022).

Sabe-se também que, julgadores treinados geralmente classificaram os atributos sensoriais como menos intensos em comparação com juízes não treinados, sugerindo uma sensibilidade mais refinada às diferenças (Roberts; Vickers, 1994).

De forma geral, os resultados sugerem que a natureza do adoçante (sacarose ou xilitol) e a presença de carreadores (sílica ou celulose), quando submetidos à co-moagem, impactam de maneira distinta a textura, a intensidade e a persistência da doçura na matriz lipídica da pasta de amendoim. A sacarose, por ser mais solúvel e apresentar maior impacto imediato, foi percebida com maior intensidade inicial, mas menor persistência. Já o xilitol, possivelmente em função de sua menor solubilidade na fase lipídica e efeito refrescante característico, resultou em maior prolongamento da sensação de doçura.

Esta análise reforça a importância da distinção entre os atributos sensoriais mensurados por um painel treinado e a percepção subjetiva de aceitação do consumidor, sendo ambas essenciais para o desenvolvimento de produtos.

5.5 Correlação entre as análises sensoriais descritivas e de aceitação

Uma análise exploratória inicial de Componentes Principais (ACP) foi conduzida com o objetivo de identificar as principais dimensões da variabilidade sensorial das pastas de amendoim adoçadas, englobando todos os atributos descritivos e de aceitação avaliados. A Tabela 8 apresenta as cargas fatoriais nos dois primeiros componentes principais dos atributos sensoriais analisados.

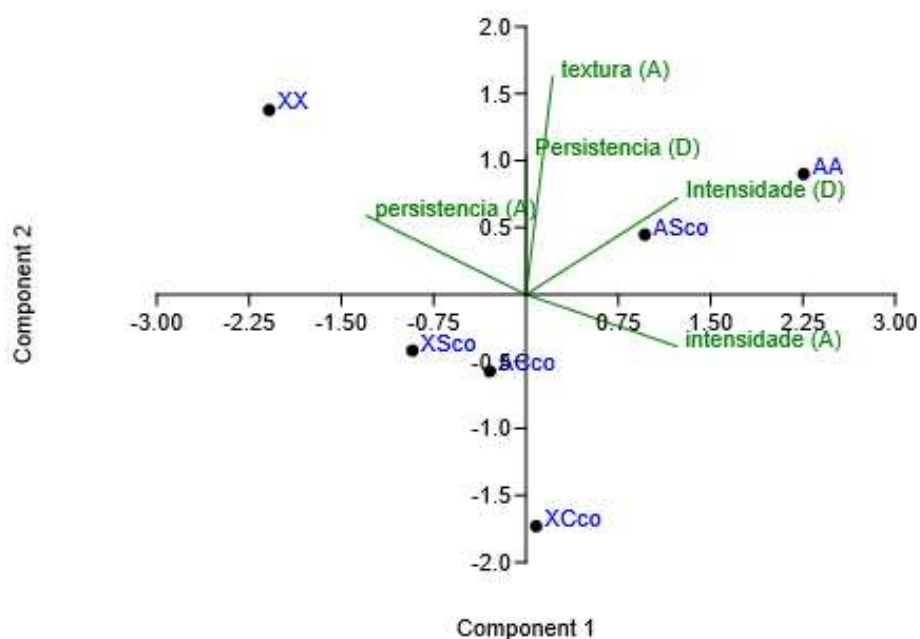
Tabela 8. Cargas fatoriais dos atributos sensoriais nos dois primeiros componentes principais.

Atributos	PC 1	PC 2
Intensidade (D)	0.56413	0.32991
Persistencia (D)	0.0015495	0.47806
textura (A)	0.099631	0.74688
intensidade (A)	0.56323	-0.17801
persistencia (A)	-0.59548	0.27038
Variação explicada (%)	45,29	25,62

(D): atributos relacionados à análise descritiva; (A): atributos relacionados à análise de aceitação.

Esses componentes são visualmente representados no biplot da Figura 15, que ilustra as relações entre os atributos e o posicionamento das amostras.

Figura 15 - Análise de componentes principais entre perfil sensorial (D) e aceitação (A) das amostras de pasta de amendoim.



Os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) são os mais relevantes para esta representação bidimensional, explicando 45,29% e 25,62% da variância total dos dados, respectivamente, resultando em uma variância cumulativa de 70,91%.

O PC1 é fortemente caracterizado por cargas positivas elevadas das variáveis Intensidade (D) (0,564), intensidade (A) (0,563), e carga negativa para persistência (A) (-0,595).

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi empregada para explorar as inter-relações entre as amostras e os atributos sensoriais, bem como para identificar as principais fontes de variação nos dados. Os resultados são apresentados na forma de um biplot, que projeta as amostras e as variáveis em um espaço bidimensional.

Os dois primeiros componentes principais, PC1 e PC2, explicaram, em conjunto, 70,91% da variância total dos dados (45,29% e 25,62%, respectivamente). Este valor substancial indica que a maior parte da informação contida na matriz de dados pode ser explicada por essas duas dimensões, tornando a visualização do biplot representativa e robusta para a interpretação dos resultados.

O Componente Principal 1 (PC1) responde por quase metade da variação total, está fortemente correlacionado com a Intensidade percebida das amostras. Os pesos fatoriais (loadings) confirmam esta relação: intensidade (D) (0.564) e intensidade (A)

(0.563) apresentaram os maiores pesos positivos, enquanto persistência (A) (-0.595) teve um alto peso negativo.

O Componente Principal 2 (PC2), que explica 25,62% da variância, está principalmente associado à Textura e à Persistência das amostras. O atributo textura (A) apresentou o maior peso fatorial no PC2 (0.747), seguido por Persistência (D) (0.478). Assim, a dimensão vertical (PC2) separa as amostras com alta textura e persistência das que exibem pontuações baixas para estes atributos.

A distribuição das amostras no biplot (Figura 15) revela agrupamentos distintos baseados em seus perfis sensoriais:

- ✓ Amostras Caracterizadas por Alta Intensidade: As amostras AA e ASco estão localizadas no quadrante superior direito do gráfico. Sua proximidade com os vetores de intensidade (D) e intensidade (A) indica que essas formulações são percebidas com alta intensidade de doçura.
- ✓ Amostras Caracterizadas por Alta Persistência e boa aceitação de Textura: A amostra XX está isolada no quadrante superior esquerdo. Sua posição é fortemente influenciada por Persistência (D) e textura (A), demonstrando que esta formulação se destaca pela sua persistência de sabor doce e por textura agradável.
- ✓ Amostras de Baixa Persistência: A amostra XSco está localizada no quadrante inferior esquerdo, na direção oposta ao vetor de persistência (A). Isso sugere que essa amostra é caracterizada por uma persistência muito baixa. A amostra XCco está no quadrante inferior central, com um escore baixo no PC2, indicando que ela tem pouca relação com os atributos de persistência e textura.

A proximidade entre os vetores de Intensidade (D), Persistência (D) e Intensidade (A) no quadrante superior direito e a separação de persistência (A) no quadrante superior esquerdo indicam que os dois tipos de persistência avaliados se comportam de forma diferente e caracterizam amostras diferentes.

6 – CONCLUSÃO

As análises por microscopia eletrônica de varredura evidenciaram que o método de co-moagem altera significativamente a morfologia e o tamanho de partícula das misturas adoçantes, influenciando diretamente as modificações sensoriais observadas. Os adoçantes obtidos por co-moagem apresentaram maior intensidade de gosto doce na forma em pó. Contudo, ao serem aplicados na matriz da pasta de amendoim, os resultados demonstraram que o desempenho sensorial de um adoçante não é uma propriedade intrínseca, mas sim dependente da interação com a matriz alimentar.

Os resultados evidenciam que o tipo de adoçante, a presença de carreadores e o método de processamento influenciam de forma distinta o perfil sensorial da doçura. A sacarose pura apresentou maior intensidade, mas menor persistência, enquanto o xilitol demonstrou efeito inverso, com maior prolongamento do gosto doce. A co-moagem intensificou a percepção de doçura em ambas as bases adoçantes, atribuída à maior área superficial e à modificação estrutural das partículas, embora tenha reduzido a persistência, especialmente em formulações com xilitol. Na pasta de amendoim, a matriz lipídica modulou a liberação dos adoçantes, diminuindo a intensidade, mas favorecendo uma persistência mais equilibrada. A aceitação confirmou a superioridade da sacarose e das formulações co-moídas quanto à intensidade, enquanto o xilitol puro destacou-se em persistência. A análise multivariada confirmou a separação entre amostras por intensidade e persistência, reforçando que a escolha combinada de adoçante, carreador e processamento é determinante para otimizar a percepção de doçura em alimentos.

Em síntese, o estudo demonstrou que o perfil sensorial é resultado de interações complexas entre adoçante, aditivo, método de processamento e matriz alimentar. A validação em produto final é indispensável, pois um desempenho sensorial positivo em ingrediente isolado não assegura aceitação em sistemas alimentares complexos.

7 – LIMITAÇÕES DO ESTUDO E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Apesar das contribuições relevantes deste trabalho, algumas limitações devem ser consideradas. O estudo concentrou-se em uma única matriz alimentar — a pasta de amendoim — e utilizou um conjunto específico de adoçantes e aditivos. Tais recortes, embora necessários para o controle experimental, restringem a generalização dos resultados. Com base nisso, diversas frentes de pesquisa podem ser exploradas futuramente, visando aprofundar o conhecimento sobre a modulação sensorial da doçura e ampliar a aplicabilidade dos achados.

Em primeiro lugar, destaca-se a importância de avaliar o comportamento dessas formulações em outras matrizes alimentícias com características distintas de composição, especialmente em relação ao teor de gordura, água e proteínas, que podem interferir diretamente na liberação e percepção dos adoçantes e dos aditivos utilizados. Investigar essa variabilidade é fundamental para verificar a reprodutibilidade dos efeitos sensoriais observados e garantir a aplicabilidade tecnológica em diferentes contextos.

Além disso, recomenda-se o aprofundamento na caracterização físico-química e reológica das formulações, com foco em parâmetros como distribuição granulométrica, solubilidade, higroscopicidade e comportamento de fluxo. A compreensão dessas propriedades pode estabelecer correlações importantes com os atributos sensoriais percebidos, permitindo uma abordagem mais integrada entre ciência dos materiais e análise sensorial.

Adicionalmente, sugere-se a realização de testes com diferentes concentrações de adoçantes e aditivos, com o objetivo de compreender melhor sua influência na modulação sensorial. Da mesma forma, investigações voltadas para a percepção do consumidor final são altamente recomendadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Termo de compromisso: monitoramento de açúcar. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/monitoramento/programas-nacionais-de-monitoramento-de-alimentos/termo-de-compromisso-monitoramento-de-acucar.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2025.

ALVES, C. J.; OTERO, D. M.; KRUMREICH, F. D. Testes Discriminativos. In: NORA, FLÁVIA MICHELON DALLA . *Análise Sensorial Clássica: Fundamentos e Métodos*. 1. ed. Canoas: Mérida Publishers, 2021. v. 1. 140p.

ARRAIS, P. S. D.; VIANNA, M. P. N.; ZACCOLO, A. V.; MOREIRA, L. I. M.; THÉ, P. M. P.; QUIDUTE, A. R. P.; FONTANELLA, A. T.; PIZZOL, T. S. D.; TAVARES, N. U. L.; OLIVEIRA, M. A.; LUIZA, V. L.; RAMOS, L. R.; FARIAS, M. R.; BERTOLDI, A. D.; MENGUE, S. S. Use of artificial sweeteners in Brazil: a household survey approach. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, n. 11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00010719>. Acesso em: 12 ago. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 8586**: Análise sensorial — Seleção e treinamento de avaliadores sensoriais. Rio de Janeiro, 2024.

BANIEL, A.; ZVIELY, M.; ELIYAHU, S.; GELBART, N.; BANIEL, E.; ROMM, R. Method for producing sweetener compositions and sweetener compositions. Patente US20160242439A1. 2015. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US20160242439A1/en?assignee=DouxMatok&oq=DouxMatok>. Acesso em: 14 set. 2024.

BARROS, S. L.; SILVA, W. P.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; ARAÚJO, T. J.; SANTOS, N. C.; GOMES, J. P. Efeito da adição de diferentes tipos de açúcar sobre a qualidade físico-química de geleias elaboradas com abacaxi e canela. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 1, n. 45, p. 150-157, jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.18265/1517-03062015v1n45p150-157>. Acesso em: 12 set. 2024.

BENTON, D. Carbohydrate ingestion, blood glucose and mood. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 26, n. 3, p. 293-308, maio 2002. doi: 10.1016/s0149-7634(02)00004-0. Acesso em: 16 set. 2024.

BIRCH, G. Modulation of sweet taste. **BioFactors**, Oxford, v. 9, n. 1, p. 73-80, 1999. DOI: 10.1002/biof.5520090109. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/biof.5520090109>. Acesso em: 3 jan. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 45, de 3 de novembro de 2010. Dispõe sobre o uso de aditivos alimentares autorizados para uso segundo as Boas Práticas de Fabricação em diversas categorias de alimentos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 4 nov. 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 429, de 8 de outubro de 2020. Dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 76, 9 out. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-429-de-8-de-outubro-de-2020-282070599>. Acesso em: 3 maio 2025.

SHIM, J.; SON, H. J.; KIM, Y.; KIM, K. H.; KIM, J. T.; MOON, H.; KIM, M. J.; MISAKA, T.; RHYU, M. R. Modulation of Sweet Taste by Umami Compounds via Sweet Taste Receptor Subunit hT1R2. **PLoS ONE**, v. 10, n. 4, e0124030, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124030>

CARDELLO, H. M. A. B.; DA SILVA, M. A. P. A.; DAMASIO, M. H. Measurement of the relative sweetness of stevia extract, aspartame and cyclamate/saccharin blend as compared to sucrose at different concentrations. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 54, p. 119–129, 1999. DOI: 10.1023/A:1008134420339

CECATI, M.; VIGNINI, A.; BORRONI, F.; PUGNALONI, S.; ALIA, S.; SABBATINELLI, J.; NICOLAI, G.; TAUS, M.; SANTARELLI, A.; FABRI, M.; MAZZANTI, L.; EMANUELLI, M. TAS1R3 and TAS2R38 polymorphisms affect sweet taste perception: an observational study on healthy and obese subjects. **Nutrients**, Basel, v. 14, n. 9, p. 1711, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14091711>. Acesso em: 3 maio 2025.

CHOI, Y.; WONG, R. R.; CHA, Y. K.; PARK, T. H.; KIM, Y.; CHUNG, S. J. Sweet–bitter taste interactions in binary mixtures of sweeteners: Relationship between taste receptor activities and sensory perception. **Food Chemistry**, 2024. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.140343. Acesso em: 9 out. 2024.

COLOMBO, S.; PAGLIA, L. Obesidade infantil, açúcar e cárie precoce na infância: a armadilha doce. **Revista Europeia de Odontologia Pediátrica**, v. 25, n. 4, p. 1, 2024. DOI: 10.23804/ejpd.2024.25.04.01.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Produção de cana-de-açúcar na safra 2023/24 chega a 713,2 milhões de toneladas, a maior série histórica. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5489-producao-de-cana-de-acucar-na-safra-2023-24-chega-a-713-2-milhoes-de-toneladas-a-maior-da-serie-historica>. Acesso em: 8 set. 2024.

CONSUMO DE AÇÚCAR NO BRASIL: QUAIS OS DESDOBRAMENTOS DO TEMA PARA 2023. **Food Connection**. 2023. Disponível em: <https://www.foodconnection.com.br/ingredientes/consumo-de-acucar-no-brasil-quais-os-desdobramentos-do-tema-para-2023>. Acesso em: 5 jan. 2024.

DIEPEVEEN, J.; MOERDIJK-POORTVLIET, T. C. W.; LEIJ, F. R. van der. Molecular insights into human taste perception and umami tastants: a review. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 87, n. 4, p. 1363–1379, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16101>. Acesso em: 3 maio 2025.

DOUGLASS, I.; HARROWELL, P. Kinetics of dissolution of an amorphous solid. *The Journal of Physical Chemistry B*, v. 122, n. 8, p. 2425–2433, 1 mar. 2018. DOI: 10.1021/acs.jpcb.7b12243.

DUBOIS, G. E.; PRAKASH, I. Non-caloric sweeteners, sweeteners modulators and sweetener enhancers. *Annual Review of Food Science and Technology*, v. 3, n. 1, p. 353–380, 2012. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101236>. Acesso em: 11 out. 2024.

DUTCOSKY, S. D. Análise sensorial de alimentos. 4. ed. Curitiba: Editora Champagnat, 2013.

EUROPEAN FLAVOUR ASSOCIATION (EFFA). Guidance Document on the EC Regulation on Flavourings. 2015. Disponível em: <https://aggressive-shelduck.files.svdcn.com/production/Documents/Guidance/effa-guidance-document-on-the-ec-regulation-on-flavourings-updated-july-2019.pdf>. Acesso em: 10 out. 2024.

FERNSTROM, J. D.; MUNGER, S. D.; SCLAFANI, A.; ARAUJO, I. E. de; ROBERTS, A.; MOLINARY, S. Mechanisms for sweetness. *The Journal of Nutrition*, v. 142, n. 6, p. 1134S–1141S, jun. 2012. DOI: 10.3945/jn.111.149567

FERREIRA, V. F.; ROCHA, D. R.; SILVA, F. C. Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 646–654, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300007>. Acesso em: 12 set. 2024.

FRANK, G. K. W.; OBERNDORFER, T. A.; SIMMONS, A. N.; PAULUS, M. P.; FUDGE, J. L.; YANG, T. T.; KAYE, W. H. Sucrose activates human taste pathways differently from artificial sweetener. *NeuroImage*, v. 39, n. 4, p. 1559–1569, 15 fev. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.10.061>. Acesso em: 15 set. 2024.

GLIEMMO, M. F.; CALVIÑO, A. M.; TAMASI, O.; GERSCHENSON, L. N.; CAMPOS, C. A. Interactions between aspartame, glucose and xylitol in aqueous systems containing potassium sorbate. *LWT – Food Science and Technology*, v. 41, n. 4, p. 611–619, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.004>.

GOMES, O. P.; RHEINHEIMER, J. P. C.; DIAS, L. F. G.; BATAGIN-NETO, A.; LISBOA-FILHO, P. N. Revisiting the hydroxylation phenomenon of SiO₂: a study through "hard-hard" and "soft-soft" interactions. *Journal of Molecular Modeling*, v. 28, n. 115, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00894-022-05107-w>

GREMEBECKA, M. Sugar alcohols—their role in the modern world of sweeteners: a review. *European Food Research and Technology*, v. 241, n. 1, p. 1–14, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2437-7>. Acesso em: 11 set. 2024.

HARVARD HEALTH PUBLISHING. Xylitol: what to know about this popular sugar substitute. 2024. Disponível em: <https://www.health.harvard.edu/nutrition/xylitol-what-to-know-about-this-popular-sugar-substitute>. Acesso em: 4 maio 2025.

HERAS-GONZALEZ, L.; LATORRE, J. A.; MARTINEZ-BEBIA, M.; GIMENEZ-BLASI, N.; OLEA-SERRANO, F.; MARISCAL-ARCAS, M. Sugar consumption in schoolchildren from southern Spain and influence on the prevalence of obesity. **PLoS ONE**, v. 15, n. 11, e0242602, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242602>. Acesso em: 3 jan. 2025.

HERNÁNDEZ-PÉREZ, A. F. et al. Xylitol bioproduction: state-of-the-art, industrial paradigm shift, and opportunities for integrated biorefineries. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 39, n. 7, p. 924–943, 2019. DOI: 10.1080/07388551.2019.1640658.

HIEW, T. N.; SOLOMOS, M. A.; KAFLE, P.; POLYZOIS, H.; ZEMLYANOV, D. Y.; PUNIA, A.; SMITH, D.; SCHENCK, L.; TAYLOR, L. S. The importance of surface composition and wettability on the dissolution performance of high drug loading amorphous dispersion formulations. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 114, n. 1, p. 289–303, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2024.09.020>

HOFMANN, T. Taste-active Maillard reaction products – The “tasty” world of nonvolatile Maillard reaction products. In: NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1043, p. 20-29, 2005. DOI: 10.1196/annals.1333.003

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017–2018: avaliação nutricional da disponibilidade domiciliar de alimentos no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2020a. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101704>. Acesso em: 3 maio 2025.

IMESON, A. Food stabilisers, thickeners and gelling agents. Oxford: Wiley-Blackwell, 2009. DOI:10.1002/9781444314724

JACQUES, A.; CHAAYA, N.; BEECHER, K.; ALI, S. A.; BELMER, A.; BARTLETT, S. The impact of sugar consumption on stress driven, emotional and addictive behaviors. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 103, p. 178-199, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.05.021> Acesso em: 15 dez. 2024.

JÁUREGUI, A. et al. Impact of front-of-pack nutrition labels on consumer purchasing intentions: a randomized experiment in low- and middle-income Mexican adults. **BMC Public Health**, v. 20, p. 463, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08549-0>.

JYOTAKI, M. et al. Modulation of sweet taste sensitivity by orexigenic and anorexigenic factors. **Endocrine Journal**, v. 57, n. 6, p. 467-475, 2010. DOI: 10.1507/endocrj.k10e-095. Acesso em: 9 out. 2024.

KALT, M.; ROS, A.; IAMARTINO, P.; MERCURI, S.; CRIVELLI, D.; JOOST, B. Mechano-Chemical Activation and Stabilization of APIs by co-Milling. 2018. Disponível em: <https://repository.supsi.ch/9449/>. Acesso em 20 mar. 2025.

KARL, C. M.; VIDA KOVIC, A.; PJEVAC, P.; HAUSMANN, B.; SCHLEINING, G.; LEY, J. P.; BERRY, D.; HANS, J.; WENDELIN, M.; KÖNIG, J.; SOMOZA, V.; LIEDER, B. Individual Sweet Taste Perception Influences Salivary Characteristics

After Orosensory Stimulation With Sucrose and Noncaloric Sweeteners. **Frontiers in Nutrition**, 2022. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.831726>

LE GLÉAU, L.; ROUAULT, C.; OSINSKI, C.; PRIFTI, E.; SOULA, H. A.; DEBÉDAT, J.; BUSIEAU, P.; AMOUYAL, C.; CLÉMENT, K.; ANDREELLI, F.; RIBEIRO, A.; SERRADAS, P. Intestinal alteration of α -gustducin and sweet taste signaling pathway in metabolic diseases is partly rescued after weight loss and diabetes remission. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, v. 321, p. E417–E432, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00071.2021>. Acesso em: 4 maio 2025.

LEVY, R. B.; CLARO, R. M.; BANDONI, D. H.; MONDINI, L.; MONTEIRO, C. A. Disponibilidade de "açúcares de adição" no Brasil: distribuição, fontes alimentares e tendência temporal. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 15, n. 1, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2012000100001>. Acesso em: 3 jan. 2024.

LIVESEY, G. Health potential of polyols as sugar replacers, with emphasis on low glycaemic properties. **Nutrition Research Reviews**, v. 16, n. 2, p. 163–191, 2003. DOI: 10.1079/NRR200371

LOUBENS, C. et al. A biomechanical model of swallowing for understanding the influence of saliva and food bolus viscosity on flavor release. **Journal of Theoretical Biology**, v. 280, n. 1, p. 180-188, 7 jul. 2011. DOI: 10.1016/j.jtbi.2011.04.016. PMID: 21530546.

LUPIDI, G.; PASTORE, G.; MARCANTONI, E.; GABRIELLI, S. Recent developments in chemical derivatization of microcrystalline cellulose (MCC): Pre-treatments, functionalization, and applications. **Molecules**, v. 28, n. 5, p. 2009, 2023. <https://doi.org/10.3390/molecules28052009>. Acesso em: 7 out. 2024.

MANHANI, T. M.; CAMPOS, M. V. M.; DONATI, F. P.; MORENO, A. D. H. Sacarose, suas propriedades e os novos edulcorantes. *Revista Brasileira de Medicina*, v. 17, n. 1, p. 1-12, 2014. Centro Universitário de Araraquara (UNIARA). Disponível em: <https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/12>. Acesso em: 18 set. 2024.

MESCOTO, J. A.; MARTÍNEZ-CARRILLO, B. E.; RAMÍREZ-DURÁN, N.; RAMÍREZ-SAAD, H.; AGUIRRE-GARRIDO, J. F.; VALDÉS-RAMOS, R. Chronic consumption of sweeteners in mice and its effect on the immune system and the small intestine microbiota. **Biomedica**, 2021;41(3):504-530. doi: 10.7705/biomedica.5806.

MATHLOUTHI, M.; REISER, P.; BIRCH, G. G. Physical properties. In: MATHLOUTHI, M.; REISER, P. (eds.). *Sucrose*. Boston: Springer, 1995. p. 329-353. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-2676-6_8. Acesso em: 18 set. 2024.

McKENZIE, E.; LEE, S. Y. Sugar reduction methods and their application in confections: a review. **Food Science and Biotechnology**, v. 31, n. 4, p. 387-398, abr. 2022. DOI: 10.1007/s10068-022-01046-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01046-7>. Acesso em: 14 set. 2024.

MEDEIROS, A.; TAVARES, E.; BOLINI, H. M. A. Descriptive Sensory Profile and Consumer Study Impact of Different Nutritive and Non-Nutritive Sweeteners on the Descriptive, Temporal Profile, and Consumer Acceptance in a Peach Juice Matrix. **Foods**, v. 11, n. 2, p. 244, 17 jan. 2022. DOI: 10.3390/foods11020244. PMID: 35053976.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. Sensory evaluation techniques. 5. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

MÉNDEZ-GARCÍA, L. A.; BUENO-HERNÁNDEZ, N.; CID-SOTO, M. A.; DE LEÓN, K. L.; MENDOZA-MARTÍNEZ, V. M.; ESPINOSA-FLORES, A. J.; CARRERO-AGUIRRE, M.; ESQUIVEL-VELÁZQUEZ, M.; LEÓN-HERNÁNDEZ, M.; VIURCOS-SANABRIA, R.; RUÍZ-BARRANCO, A.; COTA-ARCE, J. M.; ÁLVAREZ-LEE, A.; DE LEÓN-NAVA, M. A.; MELÉNDEZ, G.; ESCOBEDO, G. Ten-Week Sucralose Consumption Induces Gut Dysbiosis and Altered Glucose and Insulin Levels in Healthy Young Adults. **Microorganisms**, v. 10, n. 2, p. 434, 2022. DOI: 10.3390/microorganisms10020434.

MENNELLA, J. A.; BOBOWSKI, N. K. The sweetness and bitterness of childhood: Insights from basic research on taste preferences. **Chemical Senses**, v. 39, n. 4, p. 333–346, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.05.015>

MENNELLA, J. A.; BEAUCHAMP, G. K. Flavor perception in human infants: development and functional significance. **Annals of Nutrition and Metabolism**, Basel, v. 66, supl. 1, p. 8–15, 2015. DOI: 10.1159/000323397. Acesso em: 3 maio 2025.

MEYER-GERSPACH, A. C. et al. Effect of the Natural Sweetener Xylitol on Gut Hormone Secretion and Gastric Emptying in Humans: A Pilot Dose-Ranging Study. **Nutrients**, v. 13, n. 1, p. 174, 8 jan. 2021. DOI: 10.3390/nu13010174. PMID: 33429977.

MEYERHOF, W.; BATRAM, C.; KUHN, C.; BROCKHOFF, A.; CHUDоба, E.; BUFE, B.; APPENDINO, G.; BEHRENS, M. The molecular receptive ranges of human TAS2R bitter taste receptors. **Chemical Senses**, Oxford, v. 30, n. 1, p. 59–68, 2005. DOI: 10.1093/chemse/bjp092

MINIM, V. P. R.; SILVA, R. C. S. N. **Análise sensorial descritiva**. Viçosa: UFV, 2016.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa n.º 47, de 30 de agosto de 2018. Estabelece Regulamento Técnico do Açúcar. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 30 ago. 2018. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=2020932845>. Acesso em: 20 set. 2024.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa n.º 76, de 26 de novembro de 2018. Estabelece os critérios e procedimentos para produção de leite cru refrigerado. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 30 nov. 2018. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=2020932845>. Acesso em: 14 set. 2024.

MOZAFFARIAN, D.; HAO, T.; RIMM, E.; WILLETT, W. C.; HU, F. B. Changes in diet and lifestyle and long-term weight gain in women and men. **New England Journal of Medicine**, v. 364, n. 25, p. 2392-2404, 23 jun. 2011. DOI:10.1056/NEJMoa1014296. Acesso em: 14 set. 2024.

NAKAJIMA, K.; ASAKURA, T.; MARUYAMA, J.; MORITA, Y.; OIKE, H.; SHIMIZU-IBUKA, A.; MISAKA, T.; SORIMACHI, H.; ARAI, S.; KITAMOTO, K.; ABE, K. Extracellular production of neoculin, a sweet-tasting heterodimeric protein with taste-modifying activity, by *Aspergillus oryzae*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 72, n. 5, p. 3716-3723, 2006. <https://doi.org/10.1128/AEM.72.5.3716-3723.2006>. Acesso em: 6 out. 2024.

NARULA, A.; YANG, D. H.; CHAKRAVARTY, P.; LI, N. Growth mechanisms of amorphous nanoparticles in solution and during heat drying. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, 2024. DOI: 10.1016/j.xphs.2024.08.017. Acesso em: 10 out. 2024.

NOGUEIRA, M. B. Fundamentos e Introdução à Análise Sensorial. In: DALLA NORA, F. M. (Org.). *Análise Sensorial Clássica: Fundamentos e Métodos*. Canoas: [s.n.], 2021.

NOGUEIRA-DE-ALMEIDA, C. A.; FILHO, D. R. Positioning on the use of polyols as table sweeteners. **International Journal of Nutrology**, v. 14, n. 2, p. 71–80, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1055/s-0041-1733907>. Acesso em: 15 set. 2024.

O'DONNELL, K.; KEARSLEY, M. W. *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology*. 2. ed. Wiley-Blackwell, 2012.

OPEN FOOD FACTS. Open database of food products from around the world. Disponível em: <https://world.openfoodfacts.org/>. Acesso em: 31 mar. 2025.

OTTINGER, H.; HOFMANN, T. Discovery and structure determination of a novel Maillard-derived sweetness enhancer by application of the comparative taste dilution analysis (cTDA). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 4, p. 1035-1041, 2003. DOI: 10.1021/jf020977i. Acesso em: 8 out. 2024.

OTTINGER, H.; HOFMANN, T. Identification of the taste enhancer alapyridaine in beef broth and evaluation of its sensory impact by taste reconstitution experiments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 23, p. 6791-6796, 2003. DOI: 10.1021/jf034788r. Acesso em: 7 out. 2024.

PANG, J.; ZHANG, F. Carbohydrates. In: PANG, J.; ZHANG, F. **Essentials of Food Chemistry**. [S.l.]: Springer, 2021. p. 123-195. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-16-0610-6_4. Acesso em: 18 set. 2024.

PASHA, I.; AHMAD, F.; USMAN, M. Elucidation of morphological characteristics, crystallinity, and molecular structures of native and enzyme modified cereal brans. **Journal of Food Biochemistry**, v. 45, n. 7, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/JFBC.13768>.

PAZ, B. M. S.; COSTA, E. A. Uso de adoçantes dietéticos por usuários da Atenção Básica no Sistema Único de Saúde, Brasil. **Revista Estudos Sociais**, n. 64, 2021. DOI: <https://doi.org/10.7440/res64.2018.03>. Acesso em: 12 set. 2024.

PELCHAT, M. L.; CARFAGNO, G. M. GI glucose enhances “mere” exposure in humans. **Appetite**, v. 54, n. 3, p. 669-669, jun. 2010. DOI:10.1016/j.appet.2010.04.160. Acesso em: 18 set. 2024.

PUBCHEM. PubChem Compound Summary for CID 5988, Sucrose. Bethesda (MD): National Library of Medicine (US), National Center for Biotechnology Information, 2004-. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sucrose>. Acesso em: 14 set. 2024.

LENHART, A.; CHEY, W. D. A systematic review of the effects of polyols on gastrointestinal health and irritable bowel syndrome. **Advances in Nutrition**, v. 13, n. 6, p. 2061–2073, 2022. DOI: 10.3945/an.117.015560

LOUBENS, C. et al. A biomechanical model of swallowing for understanding the influence of saliva and food bolus viscosity on flavor release. **Journal of Theoretical Biology**, v. 280, n. 1, p. 180-188, 7 jul. 2011. DOI: 10.1016/j.jtbi.2011.04.016. PMID: 21530546.

REIS, L. R. Padrão de consumo de alimentos com açúcar de adição entre estudantes de uma instituição pública de ensino superior do sudeste brasileiro. 2014. 130 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ODON-B7FHHL/1/disserta__o_luciene_rodrigues_reis.pdf. Acesso em: 3 jan. 2024.

ROBERTS, A. K.; VICKERS, Z. M. A comparison of trained and untrained judges' evaluation of sensory attribute intensities and liking of cheddar cheeses. **Journal of Sensory Studies**, v. 9, n. 1, p. 1–20, 1994. DOI: 10.1111/j.1745-459X.1994.tb00226.x.

ROPER, S. D.; CHAUDHARI, N. Taste buds: cells, signals and synapses. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 18, n. 8, p. 485-497, ago. 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28655883/>. Acesso em: 18 set. 2024.

RUTKOWSKA, J.; BARANOWSKI, D.; ANTONIEWSKA-KRZESKA, A.; KOSTYRA, E. Comparison of storage-related volatile profiles and sensory properties of cookies containing xylitol or sucrose. **Foods**, Basel, v. 12, art. 4270, 2023. DOI: 10.3390/foods12234270. Acesso em: 8 jun. 2025.

SCHWARTZ, C.; ISSANCHOU, S.; NICKLAUS, S. Developmental changes in the acceptance of the five basic tastes in the first year of life. **British Journal of Nutrition**, v. 102, n. 9, p. 1375-1385, nov. 2009. DOI: 10.1017/S0007114509990286.

SCLAFANI, A. Psychobiology of food preferences. **International Journal of Obesity**, v. 25, p. S13-S16, 2001. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801905>. Acesso em: 15 set. 2024.

SCLAFANI, A.; GLASS, D. S.; MARGOLSKEE, R. F.; GLENDINNING, J. I. Gut T1R3 sweet taste receptors do not mediate sucrose-conditioned flavor preferences in mice. **American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 299, n. 6, p. R1643–R1650, dez. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00495.2010>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SERVANT, G.; KENAKIN, T. A. Pharmacological Perspective on the Temporal Properties of Sweeteners. **Pharmacological Research**, v. 204, n. 107211, jun. 2024. DOI: 10.1016/j.phrs.2024.107211.

SIGOILLOT, M.; BROCKHOFF, A.; MEYERHOF, W.; BRIAND, L. Sweet-taste-suppressing compounds: current knowledge and perspectives of application. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 96, p. 619–630, 2012. DOI: 10.1007/s00253-012-4387-3. Acesso em: 10 out. 2024.

SILVA, J. F. C.; ROSADO, M. T. S.; MARIA, T. M. R.; PEREIRA, P. S.; SILVA, M. R.; EUSÉBIO, M. E. S. Introduction to pharmaceutical co-amorphous systems using a green co-milling technique. **Journal of Chemical Education**, v. 100, n. 4, p. 1627–1632, 23, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00036>. Acesso em: 7 ago. 2025.

SLÁMOVÁ, M. et al. Effect of co-milling on dissolution rate of poorly soluble drugs. **International Journal of Pharmaceutics**, [S.l.], v. 597, p. 120312, 2021. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2021.120312. Acesso em: 7 jun. 2025.

SOLDO, T.; BLANK, I.; HOFMANN, T. (+)-(S)-Alapyridaine-A general taste enhancer? **Chemical Senses**, v. 28, n. 5, p. 371–379, 2003. DOI: 10.1093/chemse/28.5.371. Acesso em: 11 out. 2024.

SOLDO, T.; FRANK, O.; OTTINGER, H.; HOFMANN, T. Systematic studies of structure and physiological activity of alapyridaine. A novel food-born taste enhancer. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 48, n. 4, p. 270–281, 2004. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00495.2010>. Acesso em: 12 out. 2024.

VENTURA, A. K.; PHELAN, S.; GARCIA, K. S. Maternal diet during pregnancy and lactation and child food preferences, dietary patterns, and weight outcomes: a review of recent research. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 10, n. 4, p. 413–426, 2021. DOI: 10.1007/s13668-021-00366-0

STEPHEN, A. M.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. (eds.). **Food Polysaccharides and Their Applications**. 2. ed. CRC Press, 2006.

STOGER, E. Plant bioreactors – the taste of sweet success. **Biotechnology Journal**, v. 7, n. 4, p. 475–476, 2012. doi: 10.1002/biot.201100472. Acesso em: 8 out. 2024.

STONE, H.; SIDEL, J. L. Sensory evaluation practices. 3. ed. San Diego: **Academic Press**, 2004.

SYLVETSKY, A. C.; CONWAY, E. M.; MALHOTRA, S.; ROTHER, K. I. Development of sweet taste perception: implications for artificial sweetener use.

Endocrine Development, v. 32, p. 87-99, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28873386/>. Acesso em: 3 nov. 2024.

TAKEITI, C. Y.; KIECKBUSCH, T. G.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. Morphological and Physicochemical Characterization of Commercial Maltodextrins with Different Degrees of Dextrose-Equivalent. **International Journal of Food Properties**, v. 13, n. 2, p. 411–425, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942910802181024>.

TAN, V. W. K. et al. Temporal sweetness and side tastes profiles of 16 sweeteners using temporal check-all-that-apply (TCATA). **Food Research International**, v. 121, p. 39-47, jul. 2019. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.03.019. PMID: 31108762.

TREFILOVA, I.; POPOVA, M. Porous Silica Nanomaterials as Carriers of Biologically Active Natural Polyphenols: Effect of Structure and Surface Modification. **Pharmaceutics**, v. 16, n. 1004, 2024. Disponível em: <https://www.preprints.org/manuscript/202407.0343/v1>. Acesso em: 6 out. 2024.

UMAI, D. et al. Xylitol: bioproduction and applications—a review. **Frontiers in Sustainability**, v. 3, art. 826190, 2022. DOI: 10.3389/frsus.2022.826190. Acesso em: 7 jun. 2025.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – **TACO**. 4. ed. Campinas: NEPA - UNICAMP, 2011.

UNITED STATES. Food and Drug Administration. 21 CFR §172.480 – Silicon dioxide. U.S. Government Publishing Office, 2023. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-172/section-172.480>. Acesso em: 3 maio 2025.

UNITED STATES. Food and Drug Administration. 21 CFR §172.872 – Cellulose. U.S. Government Publishing Office, 2023. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-172/section-172.872>. Acesso em: 3 maio 2025.

VENTURA, A. K.; MENNELLA, J. A. Innate and learned preferences for sweet taste during childhood. **Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care**, v. 14, n. 4, p. 379-384, jul. 2011. DOI: 10.1097/MCO.0b013e328346df65.

MOLITOR, E. von; RIEDEL, K.; KROHN, M.; HAFNER, M.; RUDOLF, R.; CESETTI, T. Sweet taste is complex: signaling cascades and circuits involved in sweet sensation. **Frontiers in Human Neuroscience**, Lausanne, v. 15, 21 jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.667709>. Acesso em: 4 maio 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guideline: sugars intake for adults and children. 2015. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549028>. Acesso em: 10 mar. 2024.

YAN, R. R.; CHAN, C. B.; LOUIE, J. C. Y. Current WHO recommendation to reduce free sugar intake from all sources to below 10% of daily energy intake for supporting overall health is not well supported by available evidence. **American Journal of**

Clinical Nutrition, v. 116, n. 1, p. 15-39, 6 jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac084>. Acesso em: 14 set. 2024.

YAO, C. K.; TAN, H.-L.; VAN LANGENBERG, D. R.; BARRETT, J. S.; ROSE, R.; LIELS, K.; GIBSON, P. R.; MUIR, J. G. Dietary sorbitol and mannitol: food content and distinct absorption patterns between healthy individuals and patients with irritable bowel syndrome. **Journal of Human Nutrition and Dietetics**, v. 27, n. 3, p. 263–275, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/jhn.12144>.

YARMOLINSKY, D. A.; ZUKER, C. S.; RYBA, N. J. P. Common sense about taste: from mammals to insects. **Cell**, v. 139, n. 2, p. 234-244, 16 out. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.10.001>. Acesso em: 15 set. 2024.

YOO, N. K.; YOUN, S. M.; CHOI, S. J. Oral toxicokinetics, tissue distribution, and 28-day oral toxicity of two differently manufactured food additive silicon dioxides. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 7, p. 4023, 5 abr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms23074023>. Acesso em: 15 set. 2024.

ZHANG, G. Morphological Surface Modification. [S.l.]: **Springer International Publishing**, 2015. p. 13-28. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-17479-2_2.

APENDICE A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa intitulada Avaliação de formulações a base de sacarose e aditivos alimentares para potencialização do gosto doce.”, sob a responsabilidade dos pesquisadores Miriam Maria de Resende e Danielle Oliveira Borges. Nesta pesquisa nós buscamos avaliar o uso de uma mistura de aditivos com açúcar pra que mesmo quando adicionado em menor quantidade que o açúcar normal, ele ainda atribua o mesmo nível de doçura à alguns alimentos por meio de análise sensorial, onde você irá degustar algumas amostras de alimentos. O Termo/Registro de Consentimento Livre e Esclarecido está sendo obtido pela pesquisadora Danielle Oliveira Borges no Laboratório de Análise Sensorial do curso de Nutrição antes do início da análise. Você tem o tempo que for necessário para decidir se quer ou não participar da pesquisa (conforme item IV da Resolução nº 466/2012 ou Capítulo. III da Resolução nº 510/2016). Na sua participação, você deverá experimentar amostras diferentes de mistura adoçantes a base de açúcar e xilitol e pasta de amendoim e deverá preencher fichas de avaliação sensorial correspondente a cada teste. O pesquisador responsável atenderá as orientações das Resoluções nº 466/2012, Capítulo XI, Item XI.2: f e nº 510/2016, Capítulo VI, Art. 28: IV - manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período mínimo de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa. Em nenhum momento você será identificado. Os resultados da pesquisa serão publicados e ainda assim a sua identidade será preservada. É compromisso do pesquisador responsável a divulgação dos resultados da pesquisa, em formato acessível ao grupo ou população que foi pesquisada (Resolução CNS nº 510 de 2016, Artigo 3º, Inciso IV).

Você não terá nenhum gasto e nem ganho financeiro por participar na pesquisa. Havendo algum dano decorrente da pesquisa, você terá direito a solicitar indenização através das vias judiciais (Código Civil, Lei 10.406/2002, Artigos 927 a 954 e Resolução CNS nº 510 de 2016, Artigo 19). Os riscos consistem em possíveis crises alérgicas à algum dos ingredientes das amostras, como amendoim e xilitol. Portanto se você tem conhecimento de possuir intolerância ou alergia a algum desses ingredientes, por favor, não participe da degustação. O benefício dessa pesquisa será fornecer dados científicos sobre o comportamento dos ingredientes na matriz alimentícia, além de uma opção de produto com menor quantidade de açúcar que proporcione o mesmo nível de gosto doce

que o sentido em alimentos com mais açúcar. Você é livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem qualquer prejuízo ou coação. Até o momento da divulgação dos resultados, você também é livre para solicitar a retirada dos seus dados da pesquisa.

Uma via original deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido ficará com você, assinada e rubricada pelos pesquisadores. Em caso de qualquer dúvida ou reclamação a respeito da pesquisa, você poderá entrar em contato com Miriam Maria Resende no telefone (34) 3230-9526 ou Danielle Oliveira Borges no telefone (34) 32258866 de Uberlândia, bloco 2B, sala 134, campus Umuarama. Para obter orientações quanto aos direitos dos participantes de pesquisa acesse a cartilha no link: https://conselho.saude.gov.br/images/comissoes/conep/documentos/Cartilha_Direitos_Eticos_2020.pdf. Você poderá também entrar em contato com o Comitê de Ética na Pesquisa com Seres Humanos – CEP, da Universidade Federal de Uberlândia, localizado na Av. João Naves

de Ávila, nº 2121, bloco A, sala 224, *campus* Santa Mônica – Uberlândia/MG, 38408-100; pelo telefone (34) 3239-4131 ou pelo e-mail **cep@propp.ufu.br**. O CEP/UFU é um colegiado independente criado para defender os interesses dos participantes das pesquisas em sua integridade e dignidade e para contribuir para o desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos conforme resoluções do Conselho Nacional de Saúde.

Uberlândia, de de 20.....

Assinatura do(s) pesquisador(es)

Eu aceito participar do projeto citado acima, voluntariamente, após ter sido devidamente esclarecido.

Assinatura do participante de pesquisa

APENDICE B: Ficha de avaliação sensorial

Por favor, experimente a amostra abaixo e marque qual a intensidade de doçura percebida.

FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL – INTENSIDADE DE DOÇURA

Código da amostra: _____

() Nenhuma doçura

() Fraca

() Moderada

() Intensa

() Muito intensa

Observações: _____

APÊNDICE C**FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DO AVALIADOR – ANÁLISE SENSORIAL**

Instruções: As informações abaixo serão utilizadas apenas para caracterização do painel sensorial, sendo garantido o sigilo das respostas.

1. Identificação

Nome: _____ Data: ____/____/____

2. Idade: _____

3. Sexo

- () Feminino
() Masculino
() Prefiro não informar

4. Preferência por doces

Em uma escala de 1 a 5, indique o quanto você GOSTA de alimentos doces, como bolos, chocolate, doce em pasta, geléias, biscoitos recheados, etc.

- 1 – Não gosto
2 – Gosto pouco
3 – Gosto moderadamente
4 – Gosto muito
5 – Gosto muitíssimo








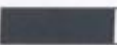





5. Frequência de consumo de doces

- () Diariamente
() 3 a 6 vezes por semana
() 1 a 2 vezes por semana
() 1 vez a cada 15 dias
() Menos de 1 vez por mês

6. Observações adicionais (opcional)

ANEXO A

Ficha para treinar a habilidade do avaliador em expressar intensidades por meio de escala não estruturada.

		None -----/----- All
		None -----/----- All
		None -----/----- All
1.		None ----- ----- All
2.		None -----/----- All
3.		None ----- ----- All
4.		None ----- ----- All
5.		None ----- ----- All
6.		None ----- ----- All
7.		None ----- ----- All
8.		None ----- ----- All
9.		None ----- ----- All
10.		None ----- ----- All

Fonte: Meilgaard, Civille, Carr, 2015.