



TASSYANA VIEIRA MARQUES FREIRE

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO SENSORIAL DE
EDULCORANTES DE ESTÉVIA COM DIFERENTES
COMPOSIÇÕES QUÍMICAS APLICADOS EM MOUSSE DE
CHOCOLATE VEGANO**

LAVRAS - MG

2025

TASSYANA VIEIRA MARQUES FREIRE

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO SENSORIAL DE EDULCORANTES DE
ESTÉVIA COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES QUÍMICAS APLICADOS EM
MOUSSE DE CHOCOLATE VEGANO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Doutor.

Prof. Dra. Ana Carla Marques Pinheiro
Orientadora

**LAVRAS - MG
2025**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Freire, Tassyana Vieira Marques.

Avaliação do comportamento sensorial de edulcorantes de estévia com
diferentes composições químicas aplicados em mousse de chocolate vegano /
Tassyana Vieira Marques Freire. - 2025.

91 p. : il.

Orientadora: Ana Carla Marques Pinheiro

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2025.
Bibliografia.

1. Estévias. 2. Glicosídeos de esteviol. 3. Potência de doçura. 4. TDS. 5.
Composição química. I. Pinheiro, Ana Carla Marques. II. Universidade Federal de
Lavras. III. Título.

TASSYANA VIEIRA MARQUES FREIRE

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO SENSORIAL DE EDULCORANTES DE
ESTÉVIA COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES QUÍMICAS APLICADOS EM
MOUSSE DE CHOCOLATE VEGANO**

**EVALUATION OF THE SENSORY BEHAVIOR OF STEVIA SWEETENERS WITH
DIFFERENT CHEMICAL COMPOSITIONS APPLIED IN VEGAN CHOCOLATE
MOUSSE**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos,
área de concentração Ciência dos Alimentos,
para obtenção do título de Doutor.

APROVADO em 29 de outubro de 2025.

Dr. Luiz Ronaldo de Abreu	UFLA
Dra. Vanessa Rios de Souza	AIGORA
Dra. Sabrina Carvalho Bastos	UFLA
Dr. Rafael Carvalho do Lago	UFLA



Documento assinado digitalmente

ANA CARLA MARQUES PINHEIRO

Data: 13/10/2026 17:50:13-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dra. Ana Carla Marques Pinheiro
Orientadora

**LAVRAS - MG
2025**

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por se fazer presente em cada momento de minha vida, iluminando meu caminho, dando-me força e perseverança para enfrentar os obstáculos. Mas principalmente por colocar em minha vida pessoas tão especiais...

Às minhas filhas, Elisa e Isabela, minhas maiores inspirações, pelo amor doce e cotidiano, pela paciência e compreensão diante dos momentos de renúncia, quando não pude estar presente com a qualidade de tempo que vocês merecem; e pela resiliência com que acolheram minhas ausências e mudanças de rotina. Obrigada por encherem meus dias de sentido, cor, risos e, sobretudo, amor.

Ao meu esposo Dieyckson, pelo amor e carinho, pela presença contínua, apoio e incentivo nos momentos desanimadores; paciência e compreensão pelos momentos renunciados; orientações e auxílios na realização deste trabalho e por me fazer querer ser uma pessoa melhor a cada dia.

Agradeço aos meus pais, José e Haydée, pelo amor incondicional e carinho, pela educação pautada em valores, pelo exemplo diário de honestidade e trabalho, e por tantas renúncias silenciosas que tornaram este sonho possível. Obrigada por estarem sempre ao meu lado, numa presença constante (mesmo que fisicamente distante), pelas orações, pelas palavras de ânimo nas horas difíceis e por acreditarem em mim antes mesmo que eu acreditasse.

Ao meu irmão, Fábio, e minha cunhada, Flavinha, pela força, paciência e amizade, e por sempre estarem me apoiando.

Aos meus amigos e familiares, pela torcida, em especial, minha avó, Zaíra, que mesmo de longe, me ouviram, me acalmou e muito me aconselharam.

Aos meus sobrinhos e afilhados, em especial, Luan, Laís e Pietro, que ajudam a colorir meus dias com muito amor e alegria, dando-me mais força para enfrentar as dificuldades.

A família do Dieyckson, minha segunda família, em especial o Sr. Vaninho, Sra. Sãozinha, Tati, Jéssica e Sra. Glória, pela acolhida, apoio e momentos de distração durante essa caminhada.

À Dra. Ana Carla Marques Pinheiro, pessoa de conhecimento admirável, orientadora e amiga, pela oportunidade, confiança, paciência, atenção, apoio, ensinamentos e exemplo como pessoa e profissional.

À Dra. Katiúcia Amorim, pela amizade, convivência, paciência, ensinamentos, sugestões e atenção, desde o início dessa caminhada, mas principalmente nesta fase final.

Aos colegas do laboratório de análise sensorial, pela amizade, convivência, atenção e grande auxílio nas análises sensoriais.

Aos colegas Luiz Guilherme e Paloma, pelo auxílio nas análises químicas.

Aos meus amigos e colegas do DCA pela verdadeira amizade e sem os quais seria impossível prosseguir.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência dos Alimentos, pela convivência e boa vontade em auxiliar e ensinar.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao programa de pós-graduação em Ciência dos Alimentos, pela contribuição em minha capacitação e formação.

Aos Doutores Luiz Ronaldo de Abreu, Vanessa Rios de Souza, Sabrina Carvalho Bastos e Rafael Carvalho do Lago, pelas sugestões e contribuições a este trabalho.

Ao apoio financeiro da CAPES e CNPq.

À empresa VidaVeg, pela parceria e doação dos produtos usados nesta pesquisa.

À University of Wisconsin (UW), em especial ao Professor Scott Rankin, PhD, pela acolhida e pelo ambiente de pesquisa e pela oportunidade de formação e intercâmbio acadêmico internacional.

E a todos que, de alguma maneira, contribuíram para a concretização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

A evidência de que o consumo excessivo de açúcares se associa à obesidade e diabetes tem impulsionado mudanças nos hábitos alimentares. Paralelamente, a preferência por ingredientes de origem natural e as incertezas quanto à segurança de edulcorantes artificiais ampliaram o interesse por alternativas naturais. Entre estas, destacam-se os glicosídeos de esteviol (estévia) obtidos de *Stevia rebaudiana*, cuja aceitação deve ser avaliada em matrizes reais. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a substituição de sacarose por cinco amostras comerciais de estévia (A, B, C, D e E) em mousse de chocolate vegana, integrando métodos sensoriais e analíticos para orientar a seleção tecnológica de edulcorantes. Inicialmente, para os estudos comparativos, 22 provadores selecionados e treinados (triagem sequencial de Wald) realizaram Estimação de Magnitude para a referência de sacarose 10%. As relações log-concentração vs. log-intensidade obedeceram à Lei de Stevens para sacarose e estévia ($R^2 \geq 0,9605$). As concentrações equivalentes ficaram $<0,15\%$ m/m e as potências variaram de $67,71 \times$ a $332,28 \times$. A caracterização por HPLC evidenciou heterogeneidade composicional (Rebaudiosídeo M, D, C e rubusosídeo), e a PCA (PC1=50%; PC2=39%) revelou associação positiva entre potência e RM (Estévia D: RM elevado) e negativa com R (Estévia B: maior R e menor potência). Já os resultados do perfil temporal, TDS, demonstraram que, embora a sacarose mantenha o perfil TDS esperado (dulçor dominante e prolongado), as amostras de estévia apresentam curvas mais curtas, dominâncias instáveis e trocas rápidas entre atributos, reflexo da complexidade da matriz e das interações químico-sensoriais entre compostos amargos e glicosídeos de esteviol. A influência da matriz reforça que o comportamento sensorial de edulcorantes naturais deve ser interpretado no contexto da aplicação final, já que textura, teor de gordura e compostos fenólicos podem alterar a cinética de percepção, potencializando a percepção de amargor dos glicosídeos menos glicosilados (RC e R), como visto nas amostras com estévia B e E, e interferindo a dominância sensorial dos compostos característicos pelo perfil de doçura dominante e sem residual indesejável (RM e RD) mesmo em amostras com alto poder adoçante. Em conclusão, embora os glicosídeos de esteviol sejam adoçantes de alta intensidade, sua potência de doçura e perfis sensoriais temporais podem variar de acordo com sua composição química e interação com os compostos da matriz, reforçando a importância do controle da composição química do blend de glicosídeos para controlar o residual e o equilíbrio sensorial. Essas descobertas fornecem informações valiosas para a indústria alimentícia, auxiliando na substituição da sacarose em diferentes produtos.

Palavras-chave: estévias, glicosídeos de esteviol; potência de doçura; TDS; composição química.

ABSTRACT

Evidence linking excessive sugar consumption to obesity and diabetes has driven changes in dietary habits. At the same time, consumer preference for natural ingredients and uncertainties regarding the safety of artificial sweeteners have increased interest in natural alternatives. Among these, steviol glycosides (stevia) obtained from *Stevia rebaudiana* stand out, although their acceptance must be evaluated in real matrices. Therefore, the objective of this study was to evaluate the replacement of sucrose with five commercial stevia samples (A, B, C, D, and E) in vegan chocolate mousse, integrating sensory and analytical methods to guide the technological selection of sweeteners. Initially, for comparative studies, 22 panelists were selected and trained according to ISO 8586/8589 (sequential Wald screening) and performed Magnitude Estimation using 10% sucrose as reference. The log-concentration vs. log-intensity relationships followed Stevens' Power Law for both sucrose and stevia samples ($R^2 \geq 0.9605$). Equivalent concentrations were $<0.15\%$ w/w and sweetness potency ranged from $67.71\times$ to $332.28\times$. HPLC characterization revealed compositional heterogeneity (Rebaudiosides M, D, C, and rubusoside), and PCA (PC1 = 50%; PC2 = 39%) showed a positive association between sweetness potency and RM (Stevia D: high RM) and a negative association with rubusoside (Stevia B: higher R and lower potency). Temporal sensory results (TDS) showed that while sucrose exhibited the expected TDS profile (dominant and prolonged sweetness), stevia samples presented shorter curves, unstable dominance, and rapid transitions among attributes. This behavior reflects the complexity of the matrix and the chemical–sensory interactions between bitter compounds and steviol glycosides. Matrix effects emphasize that the sensory performance of natural sweeteners must be interpreted in the context of the final application, as texture, fat content, and cocoa phenolic compounds may alter perception kinetics, enhancing bitterness perception of less glycosylated steviol glycosides (RC and R), as seen in samples with Stevia B and E, and interfering with the sensory dominance of compounds associated with dominant sweetness profile and without undesirable residual (RM and RD), even in samples with high sweetening power. In conclusion, although steviol glycosides are high-intensity sweeteners, their sweetness potency and temporal sensory profiles vary according to their chemical composition and interactions within the food matrix. These findings reinforce the importance of controlling the chemical composition of glycoside blends to minimize undesirable aftertastes and achieve sensory balance. The results provide valuable insights for the food industry to support sucrose replacement strategies in different products.

Keywords: stevia; steviol glycosides; sweetness potency; TDS; chemical composition.

INDICADORES DE IMPACTO

Os resultados desta pesquisa apresentam impactos significativos nos âmbitos tecnológico, social e de saúde, com aplicação direta na indústria de alimentos e benefícios potenciais à saúde pública. Do ponto de vista tecnológico, o trabalho fornece parâmetros quantitativos precisos (potência de doçura e perfis temporais via TDS) que auxiliam o setor de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) na substituição eficiente da sacarose por edulcorantes naturais em matrizes complexas, como alimentos veganos. A caracterização química via HPLC associada à análise sensorial demonstra que o controle da composição de glicosídeos (especialmente Rebaudiosídeos M e D) é crucial para mitigar o amargor residual, promovendo o avanço técnico na formulação de produtos de rótulo limpo (*clean label*). No âmbito social e de saúde, o estudo impacta positivamente a população com restrições dietéticas, como diabéticos e obesos, além de consumidores que buscam a redução da ingestão calórica, ao viabilizar produtos sensorialmente aceitáveis que auxiliam na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis. O território impactado abrange o setor produtivo nacional de edulcorantes e a indústria de alimentos processados, tendo como público-alvo consumidores finais e formuladores industriais. O trabalho classifica-se primordialmente nas áreas temáticas de Saúde e Tecnologia e Produção, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especificamente ao ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), ao promover a redução do consumo de açúcares livres, e ao ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao fomentar a inovação tecnológica no aproveitamento de recursos naturais para a produção de alimentos mais saudáveis. As evidências geradas possuem caráter de impacto potencial e direto, estabelecendo uma base científica sólida para a transição nutricional da sociedade contemporânea.

IMPACT INDICATORS

The results of this research present significant technological, social, and health impacts, with direct application in the food industry and potential benefits for public health. From a technological perspective, this study provides precise quantitative parameters (sweetness potency and temporal profiles via TDS) that assist Research and Development (R&D) departments in the efficient replacement of sucrose with natural sweeteners in complex matrices, such as vegan foods. The chemical characterization via HPLC associated with sensory analysis demonstrates that controlling the glycoside composition (especially Rebaudiosides M and D) is crucial for mitigating residual bitterness, promoting technical advancement in the formulation of clean-label products. In the social and health spheres, the study positively impacts populations with dietary restrictions, such as individuals with diabetes and obesity, as well as consumers seeking to reduce caloric intake, by enabling sensorially acceptable products that aid in the prevention of non-communicable chronic diseases. The impacted territory encompasses the national production sector of sweeteners and the processed food industry, targeting end consumers and industrial formulators. The work is primarily classified within the thematic areas of Health and Technology and Production, aligning with the UN Sustainable Development Goals (SDGs), specifically SDG 3 (Good Health and Well-being), by promoting the reduction of free sugar consumption, and SDG 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure), by fostering technological innovation in the use of natural resources for healthier food production. The generated evidence holds both potential and direct impact, establishing a solid scientific basis for the nutritional transition of contemporary society.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planta <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni	33
Figura 2 - Estrutura química do Esteviosídeo	34
Figura 3 - Estrutura dorsal dos glicosídeos de esteviol, r1 e r2.....	38
Figura 4 - Estrutura química do Rebaudiosídeo A	39
Figura 5 - Estrutura química do Rebaudiosídeo D	40
Figura 6 - Estrutura química do Rebaudiosídeo M	40
Figura 7 - Estrutura química do Rebaudiosídeo C	41
Figura 8 - Estrutura química do Rubusosídeo	41
Figura 9 - Curva Domínio Temporal das Sensações	57
Figura 10 - Função de potência linearizada para mousse de chocolate vegano com sacarose e diferentes tipos de glicosídeos de esteviol.....	67
Figura 11 - Análise de componentes principais de glicídios de esteviol e potência de doçura	71
Figura 12 - Curvas de TDS para o Mousse de chocolate vegano adoçado com sacarose a 10%	74
Figura 13 - Curvas de TDS para o Mousse de chocolate vegano adoçado com Estévia A a 0,0447%.....	74
Figura 14 - Curvas de TDS para o Mousse de chocolate vegano adoçado com Estévia B a 0.1477%.....	75
Figura 15 - Curvas de TDS para o Mousse de chocolate vegano adoçado com Estévia C a 0,0584%.....	75
Figura 16 - Curvas de TDS para o Mousse de chocolate vegano adoçado com Estévia D a 0,0301%.....	76
Figura 17 - Curvas de TDS para o Mousse de chocolate vegano adoçado com Estévia E a 0.0684%.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Mapa de classificação de edulcorantes (continua)	24
Tabela 2 Comparativo sensorial resumido de edulcorantes	28
Tabela 3 - Propriedades tecnológicas para substituição de sacarose.....	30
Tabela 4 - Panorama regulatório resumido.....	31
Tabela 5 - Perfil temporal e residuais predominantes dos principais glicosídeos de esteviol (continua).....	48
Tabela 6 - Concentrações das amostras de sacarose e dos substitutos da mesma utilizadas para determinar a equivalência de doçura em relação a referência de 10%.....	63
Tabela 7 - Antilog do intercepto y (a), intercepto na ordenada (n), coeficiente linear de determinação (R ²) e função de potência (Power Function) dos resultados para determinação da doçura para sacarose e edulcorantes, em relação a 10 % de sacarose em mousse de chocolate vegano.....	68
Tabela 8 - Concentração e potência dos glicosídeos de esteviol equivalentes à concentração de 10% de sacarose em mousse de chocolate vegano	69
Tabela 9 - Perfil de glicosídeos de esteviol quantificados por HPLC (mg L ⁻¹) nas amostras comerciais de estévia avaliadas em solução aquosa.....	70
Tabela 10 - Parâmetros de dominância temporal (TDS) obtidos para mousses de chocolate vegano adoçados com sacarose e diferentes edulcorantes de estévia.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.2	DCNTs, obesidade e consumo de açúcares.....	16
2.2	Diretrizes e estratégias de redução de açúcares e reformulação de produtos	18
2.3	Edulcorantes: definição, tipos e mecanismos	22
2.3.1	Conceitos fundamentais e terminologia.....	22
2.3.2	Mecanismos de percepção de doçura	25
2.3.3	Efeitos sensoriais: potência, perfil temporal e residual.....	26
2.3.4	Efeitos tecnológicos em formulação	28
2.3.5	Aplicações e padrões de uso	30
2.3.6	Segurança, ADI e rotulagem.....	31
2.4	Stevia rebaudiana: histórico, composição e regulação	32
2.4.1	Histórico de uso e desenvolvimento tecnológico	32
2.4.2	Glicosídeos de esteviol: panorama e principais alvos	37
2.4.3	Variabilidade entre produtos comerciais	42
2.4.4	Propriedades físico-químicas relevantes	45
2.4.5	Propriedades sensoriais da estévia	47
2.4.6	Perspectivas funcionais, uso e aplicações.....	51
2.5	Análise sensorial	52
2.5.1	Importância da análise sensorial.....	54
2.5.2	Escala de magnitude	55
2.5.3	Dominância temporal das sensações (TDS).....	56
2.5.4	Mousse de chocolate vegano como matriz alimentar	58
3	MATERIAL E MÉTODOS	61
3.1	Material	61
3.2	Análise sensorial	61
3.2.1	Seleção de provadores	61
3.2.2	Determinação da equivalência de doçura.....	62
3.2.2.1	Treinamento para a análise com escala de magnitude.....	62
3.2.2.2	Determinação da equivalência e potência de doçura.....	63
3.2.3	Dominância temporal das sensações	64
3.3	Composição química.....	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.1	Equivalência de doçura	66

4.2	Composição química.....	70
4.3	Correlação resposta sensorial e composição química.....	71
4.4	TDS	72
5	CONCLUSÃO.....	80
	REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

As doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs), especialmente as cardiovasculares, o diabetes tipo 2, as neoplasias e os distúrbios associados ao excesso de peso, representam uma das principais ameaças à saúde pública contemporânea, exercendo impacto expressivo nos âmbitos sanitário, econômico e social. Esse cenário tem sido agravado por fatores como o envelhecimento populacional, a crescente urbanização e as profundas mudanças nos sistemas alimentares. A carga dessas doenças decorre da interação entre determinantes sociais e ambientais, além de exposições modificáveis, como alimentação e atividade física, ao longo do curso de vida (Collaborators, 2017; Crown et al., 2024). Na área da nutrição, a ingestão de açúcares adicionados costuma associar-se a balanço energético positivo, ganho de peso e piores desfechos metabólicos, sobretudo quando inserida em padrões alimentares de alta densidade energética e baixa qualidade global (Collaborators, 2017; Peteliuk et al., 2021).

Diante desse cenário global de saúde pública, têm sido direcionados esforços para reduzir o consumo de açúcares livres, promovendo normas e orientações técnicas que orientam tanto políticas nacionais quanto programas voluntários de reformulação de produtos (rown et al., 2024; O'Donnell; Kearsley, 2012). Para a indústria, tais diretrizes se traduzem em metas de redução gradual, exigências de transparência no rótulo e validação sensorial de alternativas tecnológicas que preservem a aceitação do consumidor (Crown et al., 2024; O'Donnell; Kearsley, 2012).

Além disso, a intensificação do debate sobre “naturalidade” em alimentos tem levado consumidores a privilegiar ingredientes percebidos como naturais, associados à saúde e ao bem-estar. Em resposta a isso, avançou-se a padronização técnica, com a ISO/TS 19657 propondo critérios para classificar “ingredientes naturais” e evidenciando um descompasso entre expectativas do público e práticas tecnológicas da indústria, especialmente no uso de processos e aditivos de suporte (Battacchi et al., 2020; O'Donnell; Kearsley, 2012). Paralelamente, marcos regulatórios nos EUA e na União Europeia fortaleceram o uso de edulcorantes naturais, como o emprego de glicosídeos de esteviol, consolidando a estévia como alternativa viável em estratégias de redução de açúcares (O'Donnell; Kearsley, 2012; Perera; McChesney, 2021).

No campo específico da estévia, três eixos técnicos sustentam a padronização e o uso industrial, que são a composição, a estabilidade e o desempenho sensorial. Do ponto de vista da composição, o controle dos glicosídeos através de técnicas analíticas, como cromatografia

líquida de alta eficiência (HPLC), é decisivo para o perfil de doçura, pois graus mais altos de glicosilação tendem a reduzir amargor e nota metálica, aproximando a percepção do padrão sacarose (Libik-Konieczny et al., 2021; Perera; McChesney, 2021; Zhang et al., 2021). Porém, o aumento de doçura, a potência relativa de edulcorantes e o perfil temporal podem variar por intensidade-alvo, o que fundamenta o uso de protocolos sensoriais com painéis treinados e consumidores, como equivalência de doçura (iso-doçura), magnitude e TDS em desenvolvimento (O'Donnell; Kearsley, 2012; Wee; Tan; Forde, 2018). Assim, o sistema regulatório internacional e brasileiro para redução de açúcares favorece o uso responsável de edulcorantes naturais como a estévia, desde que sustentado por padronização composicional, estudos de estabilidade e demonstração sensorial em cada matriz alvo.

Diante desse cenário, a presente tese teve por objetivo avaliar o comportamento sensorial de edulcorantes comerciais de estévia com diferentes composições químicas (A, B, C, D e E), aplicados em mousse de chocolate vegano, investigando sua correlação com parâmetros de dulçor relativo e perfil temporal em comparação à sacarose. Para isso, adotou-se uma abordagem integrada de caracterização composicional e avaliação sensorial temporal, visando compreender como diferentes perfis de glicosídeos de esteviol influenciam a intensidade e a evolução temporal da doçura, bem como a presença de atributos residuais relevantes para a aceitação do produto (Philippaert et al., 2018; Wölwer-Rieck, 2018).

A interpretação dos resultados desta pesquisa considera que a experiência sensorial de um alimento resulta da interação de múltiplos componentes da formulação e não exclusivamente do sistema edulcorante. Desse modo, as correlações químico-sensoriais estimadas para os extratos de estévia precisam ser lidas à luz da matriz-alvo e dos objetivos de reformulação (Collaborators, 2017; O'Donnell; Kearsley, 2012). Em síntese, a articulação entre evidências epidemiológicas, mecanismos metabólicos e atributos sensoriais fornece suporte ao uso responsável de estévia em estratégias de redução de açúcares voltadas à prevenção de DCNTs, desde que sustentado por evidências sensoriais e tecnológicas robustas (Crown et al., 2024; Peteliuk et al., 2021).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.2 DCNTs, obesidade e consumo de açúcares

As doenças crônicas não transmissíveis compõem um conjunto de agravos de grande impacto sanitário, econômico e social, com destaque para doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2, neoplasias e distúrbios metabólicos associados ao excesso de peso, cuja carga vem sendo impulsionada por mudanças demográficas, urbanização e transformações nos sistemas alimentares (Ahmad et al., 2020; Collaborators, 2017; Rios-Leyvraz; Montez, 2022). No plano populacional, a evolução desse quadro decorre da interação entre determinantes sociais e ambientais e exposições modificáveis como alimentação e atividade física, produzindo efeitos cumulativos ao longo do curso de vida que se materializam em perfis de risco desfavoráveis e uso intensivo de serviços de saúde (Collaborators, 2017; Crown et al., 2024).

A obesidade ocupa posição central nesse cenário por funcionar como desfecho e fator intermediário de risco cardiometabólico. O aumento do tecido adiposo, sobretudo visceral, associa-se à resistência à insulina, inflamação de baixo grau e alterações lipídicas que ampliam a probabilidade de diabetes tipo 2 e eventos cardiovasculares (Ahmad et al., 2020; Collaborators, 2017). Em perspectiva de políticas públicas, a distribuição social das DCNTs tende a refletir desigualdades de renda e acesso a ambientes promotores de escolhas alimentares adequadas, o que exige estratégias combinadas de prevenção, regulação e cuidado (Collaborators, 2017; Crown et al., 2024).

Na área da nutrição, a ingestão de açúcares adicionados costuma associar-se a balanço energético positivo, ganho de peso e piores desfechos metabólicos, sobretudo quando inserida em padrões alimentares de alta densidade energética e baixa qualidade global (Collaborators, 2017; Peteliuk et al., 2021). Esse efeito é mais evidente em bebidas adoçadas, onde as calorias ingeridas tendem a produzir menor saciedade e baixa compensação subsequente, de modo que o consumo posterior não é reduzido. Como resultado, as calorias do líquido se somam às das refeições seguintes, favorecendo o superávit energético diário. Em alimentos sólidos, o impacto depende da estrutura da matriz, do teor de fibras e da distribuição de macronutrientes (Collaborators, 2017; Peteliuk et al., 2021). Do ponto de vista tecnológico, diferentes açúcares e sistemas substitutivos geram respostas glicêmicas distintas, alterando os níveis de açúcar no

sangue e de insulina após as refeições e, por consequência, a regulação do apetite e do balanço energético (O'Donnell; Kearsley, 2012; Peteliuk et al., 2021).

A percepção de doçura, embora operada por um rótulo sensorial único, não é homogênea do ponto de vista de mecanismos e temporalidades. Edulcorantes de alta potência e açúcares simples compartilham a ativação do receptor doce T1R2/T1R3, mas exibem perfis temporais diferentes quanto ao início (onset), pico (TP/Tmax) e persistência da sensação, o que repercute em aceitação e padrões de consumo (O'Donnell; Kearsley, 2012; Philippaert et al., 2018). No caso dos glicosídeos de esteviol (GE), descreve-se início mais lento, duração prolongada de doçura e possibilidade de notas residuais (off notes), como por exemplo o amargor, fenômenos compatíveis com interações no T1R2/T1R3 e modulação de vias de transdução que incluem PLC β 2, IP3, liberação de Ca²⁺ e ativação de TRPM5 nas células gustativas tipo II (O'Donnell; Kearsley, 2012; Philippaert et al., 2018). Tais diferenças sensoriais têm relevância prática, pois podem alterar preferências e o modo de uso de produtos adoçados, afetando a ingestão energética no cotidiano (Collaborators, 2017; Philippaert et al., 2018).

A variabilidade composicional dos extratos comerciais de estêvia é um ponto-chave para pesquisas químico-sensoriais. Fatores agrônômicos e genéticos, além de condições de processamento, influenciam as proporções relativas de esteviosídeo, rebaudiosídeos A, D e M, entre outros, resultando em perfis de glicosídeos heterogêneos entre cultivares, safras e fornecedores (Tavarini; Passera; Angelini, 2018; Wölwer-Rieck, 2018). Em nível de planta, a biossíntese dos glicosídeos de esteviol compartilha etapas com a via das giberelinas e envolve tecidos foliares específicos, o que ajuda a entender a distribuição dos compostos e orienta estratégias de melhoramento e padronização industrial (Oehme; Schwab; Wüst, 2019; Tavarini; Passera; Angelini, 2018). Do ponto de vista analítico, a identificação e quantificação desses glicosídeos têm sido conduzidas com métodos cromatográficos validados, historicamente ancorados em HPLC e protocolos oficiais que expandiram gradualmente o painel de analitos reconhecidos (O'Donnell; Kearsley, 2012; Wölwer-Rieck, 2018). Em aplicações, a relação entre rebaudiosídeo (Reb) A e esteviosídeo é frequentemente usada como indicador prático de qualidade sensorial, orientando a seleção de cultivares e ajustes de processamento (Tavarini; Passera; Angelini, 2018; Wölwer-Rieck, 2018).

Em termos de saúde pública, governos e a indústria de alimentos vêm priorizando a redução de açúcares por meio de reformulação, rotulagem e instrumentos econômicos (ex.: tributação de bebidas açucaradas, incentivos para opções mais saudáveis), com foco especial

em categorias que mais contribuem para o consumo total (ex.: bebidas adoçadas, sobremesas prontas), pois pequenas reduções nessas categorias geram grande impacto populacional (Ahmad et al., 2020; Crown et al., 2024). A reformulação com edulcorantes e ingredientes que conferem volume (agente de corpo) e textura (ex.: fibras solúveis, polióis, amidos modificados) de menor resposta glicêmica oferece uma via para diminuição de açúcares mantendo atributos de doçura e parte da funcionalidade tecnológica, desde que consideradas as especificidades de matriz, estabilidade e aceitação sensorial (O'Donnell; Kearsley, 2012; Peteliuk et al., 2021). O efeito dessas medidas depende de integrar políticas no ambiente alimentar e informação ao consumidor, já que os desfechos em DCNTs refletem a interação entre oferta e escolhas (Collaborators, 2017; Crown et al., 2024).

A relação entre açúcares adicionados, obesidade e DCNTs deve, portanto, ser interpretada em três camadas complementares. A primeira é a camada metabólica, na qual respostas glicêmicas e insulínicas repetidas em contextos hipercalóricos promovem ganho de peso e piora do controle metabólico (Collaborators, 2017; Peteliuk et al., 2021). A segunda é a camada sensorial e comportamental, em que o perfil temporal da doçura e notas residuais modulam aceitação e ingestão (O'Donnell; Kearsley, 2012; Philippaert et al., 2018). A terceira é a camada tecnológica e regulatória, que viabiliza reformulações com menor açúcar, preservação de qualidade e acompanhamento de consumo e desfechos em saúde (Ahmad et al., 2020; Crown et al., 2024).

2.2 Diretrizes e estratégias de redução de açúcares e reformulação de produtos

No cenário global de saúde pública, têm sido direcionados esforços para reduzir o consumo de açúcares livres, promovendo normas e orientações técnicas que orientam tanto políticas nacionais quanto programas voluntários de reformulação de produtos (Crown et al., 2024; O'Donnell; Kearsley, 2012). Para a indústria, tais diretrizes se traduzem em metas de redução gradual, exigências de transparência no rótulo e validação sensorial de alternativas tecnológicas que preservem a aceitação do consumidor, especialmente em categorias sensíveis como laticínios, bebidas e confeitados (Crown et al., 2024; O'Donnell; Kearsley, 2012).

No contexto regulatório, destacam-se duas linhas de atuação. A primeira é a avaliação de segurança e a autorização de uso de edulcorantes de alta intensidade, inclusive os de origem natural. A segunda é a padronização de rotulagem e alegações, com definições para termos

como “natural” e “reduzido em açúcar” (Battacchi et al., 2020; O’Donnell; Kearsley, 2012). Nos últimos anos, várias agências regulatórias passaram a reconhecer os glicosídeos de esteviol, sendo decisivos o reconhecimento do rebaudiosídeo A como “Geralmente Reconhecido como Seguro” (GRAS) nos Estados Unidos e, em 2011, a autorização da União Europeia para o uso de glicosídeos de esteviol. Esses avanços consolidaram a estévia como alternativa viável em programas de redução de açúcares em alimentos e bebidas (O’Donnell; Kearsley, 2012; Perera; McChesney, 2021). Em paralelo, a padronização técnica e os debates sobre “naturalidade” em ingredientes ganharam densidade, com a (ISO/TS 19657 oferecendo critérios técnicos para o enquadramento de “ingredientes naturais” e evidenciando lacunas entre as expectativas do consumidor e as práticas tecnológicas da indústria (Battacchi et al., 2020; O’Donnell; Kearsley, 2012).

Para reduzir o açúcar sem perder aceitação, a indústria adota estratégias de reformulação que incluem a substituição parcial ou total da sacarose por edulcorantes naturais de alta intensidade, o ajuste da matriz (textura ou viscosidade, sólidos totais e distribuição do dulçor no alimento, que modulam a liberação de sabor e a percepção temporal) e a exploração de sinergias sensoriais, como aromas congruentes e blends de edulcorantes, para manter o perfil de doçura e minimizar notas residuais (O’Donnell; Kearsley, 2012; Oliveira et al., 2021). Evidências em matriz láctea demonstram que aromas congruentes como baunilha e morango podem viabilizar reduções de 25% de açúcar em iogurtes sem prejuízo de aceitação, graças a interações entre aroma e gosto que sustentem a percepção temporal de dulçor (O’Donnell; Kearsley, 2012; Oliveira et al., 2021). Complementarmente, distribuir o dulçor em camadas ou zonas de diferentes concentrações tem se mostrado promissor, pois mantém picos locais de doçura capazes de preservar a intensidade percebida mesmo com menor teor de açúcar, inclusive em chocolates impressos em 3D (Khemacheevakul et al., 2021; O’Donnell; Kearsley, 2012).

No campo específico da estévia, três eixos técnicos sustentam a padronização e o uso industrial, que são a composição, a estabilidade e o desempenho sensorial. Do ponto de vista da composição, o controle dos glicosídeos, sobretudo rebaudiosídeo A, rebaudiosídeo D e rebaudiosídeo M, é decisivo para o perfil de doçura, pois glicosídeos com graus mais altos de glicosilação tendem a reduzir amargor e nota metálica, aproximando a percepção do padrão sacarose (Perera; McChesney, 2021; Zhang et al., 2021). Avanços em engenharia enzimática e bioprocessos têm ampliado o acesso a Reb M e Reb D em maior escala, hoje preferidos por

apresentarem menor residual amargo (Perera; McChesney, 2021; Zhang et al., 2021). Em apoio analítico, métodos rápidos como a espectroscopia Raman viabilizam controle de qualidade e inferências organolépticas em lotes comerciais, incluindo a diferenciação de rebaudiosídeos e a verificação de autenticidade, mas não substituem HPLC para quantificação regulatória fina (Perera; McChesney, 2021; Pezzotti et al., 2024).

Quanto à estabilidade, a literatura descreve solubilidade limitada e fenômenos de autoagregação hierárquica em soluções aquosas de rebaudiosídeo A, que podem afetar clareza, precipitação e desempenho em formulações líquidas. Por outro lado, tais agregados podem modular positivamente o perfil sensorial em níveis elevados, sinalizando uma janela de processo a ser explorado (O'Donnell; Kearsley, 2012; Yang et al., 2024). Em categorias com processamento térmico ou necessidade de mascaramento de off-notes (sabores indesejados que fogem do alvo de “doçura limpa”, como por exemplo o perfil amargo), a microencapsulação de glicosídeos com matrizes como maltodextrina–inulina mostrou melhoria de propriedades físico-químicas e redução de amargor residual, com spray-drying frequentemente superando alternativas em desempenho global (Chranioti; Chanioti; Tzia, 2016; O'Donnell; Kearsley, 2012). Essas soluções tecnológicas, quando combinadas a ajustes de sólidos solúveis, acidez e pectina, ampliam a janela de substituição de sacarose mantendo qualidade tecnológica e sensorial (O'Donnell; Kearsley, 2012; Pielak; Czarniecka-Skubina; Głuchowski, 2020).

Do ponto de vista regulatório e de rotulagem, duas dimensões demandam atenção. Primeiro, as declarações de redução de açúcar e informações de edulcorantes no painel, respeitando padrões locais; e segundo o uso do termo “naturalmente adoçado”, que tende a ser preferido conceitualmente por consumidores, mas requer que a formulação entregue experiência sensorial equivalente à sacarose para sustentar aceitação (Battacchi et al., 2020; Crown et al., 2024). Em estudos com iogurte, consumidores preferiram o rótulo “naturalmente adoçado” e, ao degustar, a sacarose ainda foi a mais aceita. Entretanto, allulose e blends allulose/estévia/sacarose superaram versões apenas com estévia, sugerindo a relevância de blends naturais e de bulking para desempenho (Crown et al., 2024; O'Donnell; Kearsley, 2012). Esses achados convergem com resultados em bebidas proteicas e leite achocolatado, onde misturas de estévia com monk fruit mascararam amargor e elevaram aceitação em reduções substanciais de açúcar (Mahato et al., 2021; Parker; Lopetcharat; Drake, 2018). Em matriz frutada, sucralose e stevia de melhor perfil aproximaram-se da sacarose em preferências temporais, reforçando o papel da temporalidade na otimização (Bolini et al., 2023; O'Donnell;

Kearsley, 2012). Finalmente, análises psicofísicas comparativas entre 16 edulcorantes indicam curvas sigmóides e potências distintas, destacando que o aumento de doçura e a potência relativa variam por intensidade-alvo, o que fundamenta o uso de equivalência de doçura (iso-doçura) e magnitude em desenvolvimento (O'Donnell; Kearsley, 2012; Wee; Tan; Forde, 2018).

Para matrizes lácteas e frutadas, recomenda-se que programas de reformulação combinem primeiro a definição do alvo sensorial por equivalência de doçura e Dominância temporal de sensações (TDS)/Tempo intensidade (TI), posteriormente a seleção composicional de glicosídeos priorizando Rebaudiosídeos M/D (quando disponíveis) ou blends que diluam contributos amargos, depois disso o suporte de bulking e textura (polióis, fibras solúveis) para repor corpo e sólidos totais. Subsequentemente recomendam-se os aromas congruentes para reforço de dulçor e, por fim, processos de mitigação de off-notes (encapsulação, acidulantes, pectina) (Chranioti; Chanioti; Tzia, 2016; O'Donnell; Kearsley, 2012; Oliveira et al., 2021).

Em chocolates, iogurtes e bebidas, evidências convergem para limiares de redução direta de 20–40% sem perda relevante de aceitação quando a matriz e o design sensorial são otimizados (Crown et al., 2024; Khemacheevakul et al., 2021; Pielak; Czarniecka-Skubina; Gluchowski, 2020). Em termos de conformidade e padronização, recomenda-se integrar as especificações analíticas de glicosídeos (HPLC/ESI-MS/Raman), com critérios de pureza por lote, ensaios de estabilidade/precipitação e protocolos sensoriais com painéis treinados e consumidores, reforçando a rastreabilidade necessária a auditorias e alegações (O'Donnell; Kearsley, 2012; Perera; McChesney, 2021; Pezzotti et al., 2024).

Assim, o sistema regulatório internacional e brasileiro para redução de açúcares favorece o uso responsável de edulcorantes naturais como a estévia, desde que sustentado por padronização composicional, estudos de estabilidade e demonstração sensorial em cada matriz alvo. Os resultados recentes em iogurte, bebidas lácteas, produtos frutados e chocolate sugerem que combinação estratégica de glicosídeos (blends), o uso de aromas congruentes, engenharia de distribuição do dulçor e padronização analítica da pureza dos compostos são determinantes para alinhar rotulagem orientada à naturalidade com a experiência sensorial esperada pelo consumidor (Crown et al., 2024; O'Donnell; Kearsley, 2012).

2.3 Edulcorantes: definição, tipos e mecanismos

2.3.1 Conceitos fundamentais e terminologia

Segundo a instrução normativa nº 211/2023, Portaria nº 540/1997 do Ministério da Saúde que regulamenta os aditivos alimentares no Brasil, os edulcorantes são substâncias diferentes dos açúcares que conferem sabor doce ao alimento (BRASIL, 2023a). Seu uso promove dulçor sem aumentar ou aumentando pouco o teor calórico do produto. Estas são substâncias adicionadas aos alimentos com a finalidade primária de conferir sabor doce, podendo contribuir ou não com valor energético, corpo e outras funções tecnológicas (Carocho; Morales; Ferreira, 2017). Sob o ponto de vista tecnológico, eles podem ser classificados como edulcorantes de alta intensidade (EAI), usados em doses muito baixas pela elevada potência, e edulcorantes que agem como agente de corpo, o qual contribui para os sólidos totais em formulações e fornece funcionalidades (O'Donnell; Kearsley, 2012). Na prática regulatória e de mercado, utiliza-se ainda a distinção entre “nutritivos”, tais como sacarídeos e polióis, e “não nutritivos”, como glicosídeos de esteviol e sucralose), bem como “origem natural” versus “artificial/sintética”, categorias que respondem a critérios técnicos e de percepção do consumidor, sem implicar diferenças intrínsecas de segurança quando aprovados nas especificações vigentes (O'Donnell; Kearsley, 2012; Perrier; Mihalov; Carlson, 2018).

Embora no uso científico e tecnológico deste trabalho, “edulcorante” abrange tanto ingredientes de alta intensidade (potência dezenas a milhares de vezes superior à sacarose, aplicados em níveis traço) quanto de volume/agente de corpo (poder adoçante de 0,4 a 1,0× sacarose, mas com funções físico-químicas relevantes como corpo, viscosidade e controle de atividade de água) (O'Donnell; Kearsley, 2012; Wee; Tan; Forde, 2018). Entre os edulcorantes intensos artificiais, destacam-se sacarina, ciclamato, aspartame, acessulfame-K, sucralose e neotame, que diferem amplamente em estrutura química, sítios de ligação no receptor doce e perfil sensorial, sendo comum a mistura para sinergia de dulçor e mitigação de off-notes (DuBois, 2016; O'Donnell; Kearsley, 2012). No grupo intenso natural, os glicosídeos de esteviol (Stevia), notadamente rebaudiosídeo A, e as frações mais modernas rebaudiosídeo D e rebaudiosídeo M, além de taumatina e mogrosídeos, têm sido empregados para atender preferências por “origem natural”, com avanços específicos em qualidade de sabor nas variantes de estévia de maior glicosilação (Philippaert et al., 2018; Tao; Cho, 2020).

Os edulcorantes de volume incluem principalmente os polióis (sorbitol, manitol, xilitol, maltitol, eritritol, isomalte, lactitol), que fornecem dulçor moderado, massa e efeitos coligativos (redução de ponto de congelamento, modulação de atividade de água), além de contribuírem para textura e estabilidade, atributos que os EAI, por si sós, não replicam (O'Donnell; Kearsley, 2012; Wee; Tan; Forde, 2018). Em função da baixa ou nula fermentabilidade oral, polióis são não-cariogênicos e recorrentes em confeitos e gomas “sugar-free”, embora seu consumo excessivo possa causar efeitos gastrointestinais osmóticos (O'Donnell; Kearsley, 2012; Perrier; Mihalov; Carlson, 2018).

Do ponto de vista terminológico e operacional para este subtópico, adotam-se quatro eixos ortogonais de classificação:

1. Intensidade/potência de dulçor:

- **Alta intensidade (EAI):** potências típicas de $30\times$ a $>20.000\times$ sacarose; não aportam massa; usualmente requerem blends para modelar curva temporal e mascarar residual (DuBois, 2016; O'Donnell; Kearsley, 2012).

- **Volume/agente de corpo:** dulçor de $0,4-1,0\times$; aportam massa e funcionalidades tecnológicas (O'Donnell; Kearsley, 2012; Wee; Tan; Forde, 2018).

2. Origem:

- **Natural:** extraídos/derivados de fontes biológicas ou obtidos por rotas biotecnológicas de compostos naturais, como glicosídeos de esteviol, mogrosídeos, taumatina, eritritol por fermentação (Perrier; Mihalov; Carlson, 2018; Philippaert et al., 2018).

- **Artificial/sintética:** moléculas não encontradas na natureza ou quimicamente modificadas, como sucralose, sacarina, acessulfame-K, neotame (DuBois, 2016; O'Donnell; Kearsley, 2012).

3. Nutricionais:

- **Nutritivos** (sacarídeos e polióis; calóricos ou de baixa caloria) vs. **não nutritivos** (EAI; aporte energético desprezível nas doses de uso) (O'Donnell; Kearsley, 2012; Wee; Tan; Forde, 2018).

4. Função tecnológica principal:

- **Edulcorar** (conferir dulçor equivalente de sacarose / EQS), **conferir corpo** (bulk), **modelar perfil temporal** (onset, pico, offset) e **mascarar off-notes** (sinergia e modulação sensorial) (O'Donnell; Kearsley, 2012; Philippaert et al., 2018).

Exemplos de edulcorantes classificados de acordo com sua funcionalidade, origem, potência relativa à sacarose, notas sensoriais e aplicação são resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Mapa de classificação de edulcorantes (continua)

Substância	Categoria	Origem	Potência relativa (vs. sacarose)	Notas sensoriais	Uso típico
Sacarose	Volume	Natural	1,0 (referência)	Dulçor limpo, rápido	Padrão de comparação
Frutose	Volume	Natural	1,2–1,8	Dulçor intenso, rápido, residual frutado	Bebidas, xaropes
Lactose	Volume	Natural	0,2	Pouco doce, leitoso	Lácteos
Eritritol	Volume	Natural (fermentação)	0,6–0,7	Frescor, sem residual amargo	Gomas, bebidas
Xilitol	Volume	Natural	1,0	Frescor, corpo	Confeitos
Maltitol	Volume	Sintético	0,9	Textura similar ao açúcar	Chocolates
Esteviosídeo	EAI	Natural	200-300	Amargor e metalidade mais saliente	-
Reb A	EAI	Natural	200–300	Dulçor intenso, residual amargo	Bebidas, tabletop
Reb D	EAI	Natural	200-450	Residual doce mais suave; menor amargor	Bebidas Premium
Reb M	EAI	Natural	200–350	Perfil mais limpo, menos residual, próximo à sacarose	Bebidas, blends iso- doce

Tabela 1 - Mapa de classificação de edulcorantes (conclusão)

Sacarina	EAI	Sintético	300–500	Amargor metálico em alta concentração	Adoçantes de mesa
Ciclamato	EAI	Sintético	30–50	Perfil redondo, usado em blends	Adoçantes tabletop
Aspartame	EAI	Sintético	180–200	Dulçor limpo, não resistente ao calor	Bebidas frias
Acesulfame-K	EAI	Sintético	150–200	Início rápido, leve amargor	Bebidas e misturas
Sucralose	EAI	Sintético	600	Perfil próximo ao açúcar, estável	Bebidas, forno
Taumatina	EAI	Natural (proteína)	2000–3000	Início lento, residual longo	Máscara de amargor

Fonte: Hellfritsch et al. (2012); O'Donnell; Kearsley (2012); Perrier; Mihalov; Carlson (2018); Philippaert et al. (2018); Tao; Cho (2020); Wee; Tan; Forde (2018); Zhang et al. (2021).

2.3.2 Mecanismos de percepção de doçura

A percepção de doçura é mediada, na língua, principalmente pelo receptor T1R2/T1R3, pertencente à família dos receptores acoplados à proteína G de classe C (GPCRs). Diferentes edulcorantes podem se ligar a sítios distintos desse heterodímero, como os domínios amino-terminais (VFD - *venus flytrap domain*), os domínios transmembranas (TMD) ou regiões alostéricas, mas convergem em uma cascata comum, que é a ativação da proteína G (gustducina). Essa ativação estimula a enzima fosfolipase C β 2 (PLC β 2), responsável pela formação de inositol-1,4,5-trifosfato (IP $_3$). O IP $_3$ se liga ao receptor de inositol-1,4,5-trifosfato tipo 3 (IP3R3), promovendo a liberação de cálcio (Ca $^{2+}$) dos estoques intracelulares. O aumento da concentração de Ca $^{2+}$ ativa o canal iônico TRPM5 (*Transient Receptor Potential channel M5*), culminando na despolarização da célula gustativa e na liberação de ATP como neurotransmissor. O ATP se liga a receptores purinérgicos (P2X) localizados nas terminações das fibras nervosas gustativas. Por fim, essa ligação gera um impulso elétrico que é enviado ao

cérebro, onde é interpretado como gosto doce (DuBois, 2016; Dubovski et al., 2023; Hao et al., 2024; Hellfritsch et al., 2012; Philippaert et al., 2018; Yoshida; Ninomiya, 2024).

Estudos estruturais e de modelagem molecular mostram que açúcares, edulcorantes artificiais e proteínas doces exploram diferentes sítios de ligação no receptor, o que explica a diversidade de perfis temporais observados (DuBois, 2016; Mayank; Jaitak, 2015). Por exemplo, açúcares simples ligam-se preferencialmente aos domínios amino-terminais, enquanto ciclamato e acessulfame-K interagem sobretudo no TMD, já a sucralose e o aspartame se ligam apenas a um domínio amino-terminal específico (VFD2) do T1R2, e proteínas doces como taumatina atuam também no domínio rico em cisteínas (Hao et al., 2024; Hellfritsch et al., 2012; Mayank; Jaitak, 2015).

Um aspecto relevante é a ativação cruzada de receptores amargos. Alguns edulcorantes intensos, como a sacarina e os glicosídeos de esteviol, podem estimular receptores hTAS2R4 e hTAS2R14, gerando amargor residual concomitante ao dulçor e explicando os “off-notes” relatados em muitas matrizes (Hellfritsch et al., 2012; Karl et al., 2020).

As diferenças entre curvas concentração/resposta e perfis temporais de carboidratos e EAI podem ser compreendidas por modelos que combinam a ligação múltipla ao T1R2/T1R3, a modulação constitutiva do receptor e a adaptação sensorial ao estímulo (DuBois, 2016; Hellfritsch et al., 2012).

No caso dos glicosídeos de esteviol, além da ligação multiponto, estudos recentes apontam que esses compostos podem potencializar a atividade do TRPM5, modulando tanto a percepção de sabores (doce, umami e amargo) quanto respostas pancreáticas relacionadas ao metabolismo da glicose (Philippaert et al., 2017; Philippaert et al., 2018). Essa propriedade coloca os glicosídeos de esteviol em uma categoria especial de edulcorantes com potencial de interação sensorial e fisiológica.

2.3.3 Efeitos sensoriais: potência, perfil temporal e residual

A caracterização sensorial de edulcorantes envolve mais do que a intensidade de dulçor. É necessário avaliar a potência relativa, os perfis temporais e a qualidade do residual.

A potência relativa é expressa como equivalência de dulçor em relação à sacarose. Edulcorantes de alta intensidade variam de 30 até mais de 20.000 vezes a sacarose (DuBois, 2016; O'Donnell; Kearsley, 2012). Entretanto, muitas curvas são não lineares, apresentando

compressão em concentrações elevadas, o que limita o ganho sensorial (Karl et al., 2020; Philippaert et al., 2018).

O perfil temporal do dulçor (onset, pico, offset) difere bastante entre moléculas. Sacarose e acessulfame-K têm início rápido e curta duração, enquanto rebaudiosídeo A e taumatina apresentam início lento e persistência longa. Rebaudiosídeo D e M, por sua vez, mostram perfil intermediário e menos residual, refletindo menor ativação de T2R (Hellfritsch et al., 2012; Karl et al., 2020).

O residual amargo, metálico ou adstringente resulta em grande parte da ativação cruzada de receptores amargos. Sacarina é associada a notas metálicas persistentes, enquanto rebaudiosídeo A apresenta amargor residual que limita seu uso isolado. Rebaudiosídeo D e M tendem a apresentar qualidade mais limpa (Hellfritsch et al., 2012; Philippaert et al., 2018). Na Tabela 2 são apresentados comparativos sensoriais resumidos de alguns edulcorantes.

A indústria tem utilizado três estratégias principais para lidar com esses efeitos:

1. **Blends** de edulcorantes, explorando sinergia e mitigando defeitos sensoriais (DuBois, 2016; O'Donnell; Kearsley, 2012).
2. **Carreadores** como eritritol, que fornecem corpo e modulam a percepção global.
3. **Aromas congruentes**, como baunilha e frutas, que reduzem a percepção de off-notes (Tao; Cho, 2020).

Esses aspectos temporais são avaliados em métodos como TDS (Temporal Dominance of Sensations), que mostra como o dulçor pode ser dominante no início, mas ser substituído por amargor no decorrer da degustação, especialmente em edulcorantes como rebaudiosídeo A, rebaudiosídeo C e rubusosídeo (Hellfritsch et al., 2012; Philippaert et al., 2017).

Tabela 2 Comparativo sensorial resumido de edulcorantes

Edulcorante	Potência relativa (vs. sacarose)	Onset	Offset/duração	Residual dominante	Observações
Sacarose	1,0 (referência)	Rápido	Curto	Nenhum	Perfil padrão de dulçor, usado como EQS
Reb A	200–300	Lento	Longo	Amargor, regália	Muito usado, mas residual limita aplicação em bebidas
Reb M	200–350	Médio	Médio	Mais limpo	Perfil mais próximo da sacarose; obtido por biotecnologia
Sacarina	300–500	Rápido	Longo	Metálico, amargo	Usada em blends com ciclamato para reduzir residual
Aspartame	180–200	Médio	Médio	Perfil limpo	Instável ao calor; bom em bebidas frias
Acesulfame-K	150–200	Rápido	Curto	Amargor leve em altas doses	Boa sinergia com sucralose e aspartame
Sucralose	600	Médio	Longo	Perfil próximo ao açúcar	Muito estável em pH e calor; preferida em bebidas e forno
Eritritol	0,6–0,7	Rápido	Curto	Frescor (efeito <i>cooling</i>)	Fornecer corpo, usado em confeitados e bebidas

Fontes: Choi; Chung (2015); DuBois (2016); Hellfrisch et al. (2012); Karl et al. (2020); O'Donnell; Kearsley (2012); Philippaert et al. (2018); Tao; Cho (2020); Wee; Tan; Forde (2018); Zorn et al. (2014).

2.3.4 Efeitos tecnológicos em formulação

A substituição de sacarose em sistemas alimentícios não envolve apenas a reposição do dulçor. Açúcares desempenham funções coligativas, estruturais e reativas que edulcorantes de alta intensidade, em doses traço, não conseguem replicar (O'Donnell; Kearsley, 2012; Wee; Tan; Forde, 2018). Entre as principais funções destacam-se:

- **Controle de atividade de água (aw):** açúcares e polióis reduzem a aw, aumentando a estabilidade microbiológica; edulcorantes intensos não possuem esse efeito.
- **Ponto de congelamento e ebulição:** sacarose e polióis modulam propriedades crioscópicas, relevantes em sorvetes e sobremesas congeladas.
- **Viscosidade e corpo:** açúcares fornecem textura e sensação de boca; substitutos precisam de agentes de corpo (p. ex., maltodextrina, fibras, polióis) para compensar (O'Donnell; Kearsley, 2012; Wee; Tan; Forde, 2018).
- **Participação em reações de Maillard e caramelização:** fundamentais em panificação e confeitaria para cor, aroma e textura; edulcorantes intensos não apresentam esse comportamento (DuBois, 2016).

A estabilidade é outro fator relevante. Aspartame é instável a pH elevado e altas temperaturas, enquanto sucralose e acesulfame-K são resistentes, adequando-se a produtos de forno ou bebidas ácidas (Yang et al., 2024). Glicosídeos de esteviol apresentam estabilidade térmica razoável, mas podem ter solubilidade limitada em soluções concentradas, formando agregados que afetam a percepção sensorial e a funcionalidade (Yang et al., 2024).

Além disso, interações com carreadores como eritritol, maltodextrina ou fibras dietéticas modulam a liberação de dulçor, reduzem off-notes e conferem corpo (O'Donnell; Kearsley, 2012; Wee; Tan; Forde, 2018). Isso justifica o uso frequente de sistemas híbridos (EAI + agentes de corpo “bulk”) em formulações comerciais.

De acordo com Kemp e Lindley (2007), um edulcorante deve atender algumas características ou metas sensoriais (Tabela 3), mas nem todos os edulcorantes disponíveis satisfazem todos os critérios. Um edulcorante ideal deve apresentar perfil de gosto semelhante ao da sacarose (doçura limpa, sem gostos ou odores residuais) e um comportamento temporal com início imediato e sem persistência indesejada. Além disso, deve ser não calórico nos níveis usuais de uso, não cariogênico e seguro, sem efeitos adversos de curto ou longo prazo, seja diretamente ou por meio de metabólitos. Sua origem deve ser natural e o produto precisa ser comercialmente disponível a preço competitivo. Do ponto de vista tecnológico, requer estabilidade em ampla faixa de condições de processamento e uso (por exemplo, baixo pH e altas temperaturas), bem como facilidade de aplicação, como uma alta solubilidade, ser incolor, inodoro e simples de produzir, armazenar e processar. Também deve ser inerte e compatível com uma ampla gama de ingredientes alimentares, manter estabilidade durante o

armazenamento, contribuir com algum efeito de volume e sensação de corpo em boca e, por fim, ser biodegradável (Kemp; Lindley, 2007).

Tabela 3 - Propriedades tecnológicas para substituição de sacarose

Meta sensorial	Funções tecnológicas a compensar	Estratégias comuns
Dulçor equivalente (EQS)	Potência e perfil temporal	Blends de EAI (ex.: Aspartame + Ace-K; Estevia + Eritritol)
Corpo e viscosidade	Volume, sensação de boca	Polióis, maltodextrina, fibras
Estabilidade térmica	Resistência a pH e calor	Uso de sucralose, Ace-K, blends estáveis
Cor e aroma	Maillard, caramelização	Uso parcial de açúcares redutores ou aromas compensatórios

Fontes: DuBois (2016); Karl et al. (2020); O'Donnell; Kearsley (2012); Wee; Tan; Forde (2018).

2.3.5 Aplicações e padrões de uso

Os edulcorantes são amplamente aplicados em bebidas, lácteos, sobremesas, confeitaria, panificação e tabletop. Cada aplicação impõe requisitos diferentes de potência, perfil temporal, estabilidade e corpo (O'Donnell; Kearsley, 2012; Wee; Tan; Forde, 2018).

- **Bebidas:** exigem edulcorantes com perfil rápido e limpo. Sucralose e blends de Reb M + eritritol são comuns em refrigerantes e bebidas esportivas (Philippaert et al., 2018; Tao; Cho, 2020).
- **Lácteos:** adoçantes devem resistir a pH levemente ácido e mascarar notas amargas. Combinações de Reb A com aromas e polióis são frequentes em iogurtes (Wee; Tan; Forde, 2018).
- **Confeitaria e panificação:** necessidade de corpo e efeitos de Maillard. Uso de polióis (maltitol, isomalte) com EAI, além de sucralose em produtos assados (O'Donnell; Kearsley, 2012).
- **Adoçante de mesa:** misturas de EAI (ciclamato+sacarina; sucralose+maltodextrina; Reb A+eritritol) para atingir EQS e boa dispersão.

- **Produtos especiais (diet/funcionais):** gomas de mascar e balas sugar-free dependem de polióis (xilitol, eritritol) pela não cariogenicidade (Wee; Tan; Forde, 2018).

2.3.6 Segurança, ADI e rotulagem

A segurança dos edulcorantes é avaliada por órgãos regulatórios como JECFA, EFSA e FDA, que estabelecem a Ingestão Diária Aceitável (IDA). Cada composto possui ADI específica, expressa em mg/kg peso corporal/dia. Por exemplo, aspartame 40 mg/kg (EFSA), sucralose 15 mg/kg, esteviosídeos 6 mg/kg (base esteviol) (BRASIL, 2023b; O'Donnell; Kearsley, 2012; Perrier; Mihalov; Carlson, 2018).

A rotulagem deve informar a presença de edulcorantes, incluindo advertências obrigatórias: “contém fenilalanina” (aspartame) ou “consumo excessivo pode causar efeito laxativo” (polióis). No Brasil, a ANVISA segue a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº778/2023 e a Instrução Normativa nº 211/2023 para edulcorantes em alimentos industrializados (BRASIL, 2023b; BRASIL, 2023a).

Além da toxicologia, a aceitação do consumidor depende de narrativas sobre a naturalidade. Edulcorantes como rebaudiosídeo M e mogrosídeos são preferidos por parte do público devido à percepção de serem “naturais”, embora do ponto de vista regulatório a segurança seja equivalente entre naturais e sintéticos quando aprovados (Orellana-Paucar, 2023; Wee; Tan; Forde, 2018). Um panorama regulatório resumido é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Panorama regulatório resumido

Categoria	Exemplos	ADI (mg/kg p.c./dia)	Advertência obrigatória
EAI sintéticos	Aspartame, Sucralose, Ace-K	Aspartame 40; Sucralose 15; Ace-K 15	“Contém fenilalanina” (aspartame)
EAI naturais	Steviol glicosídeos	6 (base esteviol)	“Uso recomendado dentro da IDA”
Polióis	Xilitol, Sorbitol, Maltitol, Eritritol	Não estabelecida formalmente; limite prático por efeito osmótico	“Consumo excessivo pode causar efeito laxativo”

Fontes: (BRASIL (2023b); BRASIL (2023a); O'Donnell; Kearsley (2012); Perrier; Mihalov; Carlson (2018); Philippaert et al. (2018).

2.4 Stevia rebaudiana: histórico, composição e regulação

2.4.1 Histórico de uso e desenvolvimento tecnológico

Stevia rebaudiana Bertoni é uma pequena planta herbácea perene, nativa da região do Paraguai na América do Sul. Suas folhas secas foram historicamente utilizadas pelas populações locais para adoçar bebidas tradicionais de sabor amargo, como o chá-mate, devido ao seu dulçor natural (Orellana-Paucar, 2023). O sabor doce característico deve-se à presença de compostos denominados glicosídeos de esteviol (GE), diterpenos glicosilados responsáveis pelo dulçor da estévia (Ahmad et al., 2020; Orellana-Paucar, 2023). Essa espécie *reubadiana* destaca-se entre as mais de 230 do gênero *Stevia* por ser uma das únicas que contêm esses glicosídeos edulcorantes, chamados glicosídeos de esteviol, em quantidade significativa, o que lhe rendeu os apelidos de “folha doce” e “erva-doce” na cultura popular (Ahmad et al., 2020), além também da espécie *phlebophylla* (Brandle; Telmer, 2007).

O poder adoçante de estévia já era conhecido há mais de um século, mas sua investigação científica teve início no começo do século XX (O'Donnell; Kearsley, 2012). Seu estudo científico inicialmente ocorreu pelo botânico suíço Moisés Santiago Bertoni e pelo químico paraguaio Ovídeo Rebaudi em 1887. Em 1905, Bertoni, devido às suas descobertas sobre a origem química e espécie, publicou estudos denominando a planta (Figura 1) como *Stevia rebaudiana*, em homenagem a Rebaudi, pelos primeiros ensaios químicos. Anos mais tarde, a Sociedade Botânica do Paraguai denominou-a de *Stevia rebaudiana* (Bert.). Bertoni.

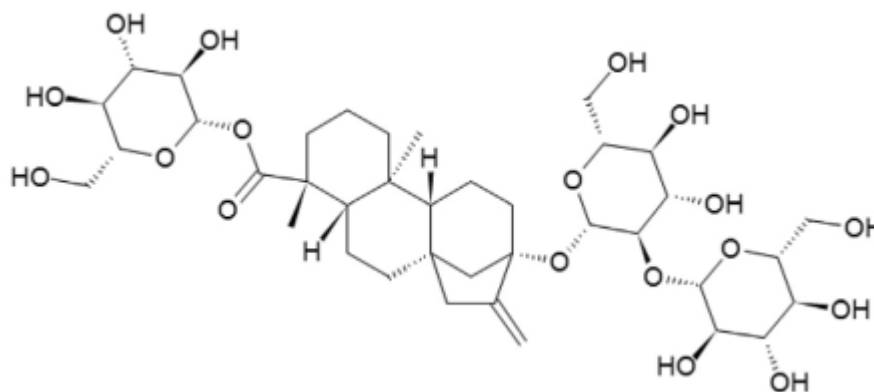
Figura 1 - Planta *Stevia rebaudiana* Bertoni



Fonte: Gasmalla et al. (2014).

Os demais estudos químicos vieram na sequência, em 1931, pesquisadores franceses conseguiram isolar e elucidar a fórmula estrutural do Esteviosídeo (Figura 2), então identificado como o principal constituinte adoçante das folhas (Wölwer-Rieck, 2018). A partir desse marco, outros glicosídeos correlatos foram identificados nas décadas seguintes, que somaram um total de 8 componentes presentes na planta, além do Esteviosídeo, os quais são rebaudiosídeo A, B, C, D e E, Dulcosídeo e Esteviolbiosídeo, estabelecendo a base científica para o desenvolvimento de adoçantes derivados da estévia. E apesar do conhecimento tradicional e dessas descobertas iniciais, o uso comercial da estévia permaneceu restrito geograficamente até meados do século XX.

Figura 2 - Estrutura química do Esteviosídeo



Fonte: Karl et al. (2020).

A virada para sua exploração em larga escala ocorreu no leste da Ásia, onde nos anos 1970, o Japão tornou-se pioneiro no desenvolvimento tecnológico da estévia como adoçante, impulsionado pela necessidade de substituir edulcorantes artificiais banidos no país (como sacarina e ciclamato) (O'Donnell; Kearsley, 2012; Wölwer-Rieck, 2018). Investimentos foram feitos no cultivo doméstico de *S. rebaudiana* e na extração de seus glicosídeos para uso em alimentos e bebidas. Nessa época, os extratos de estévia começaram a ser empregados em diversos produtos japoneses, como por exemplo, em blends (combinações de GE entre si e/ou com outros adjuvantes) com glicirrizina (derivado de alcaçuz) para adoçar molho de soja e outras preparações, inclusive utilizando extratos de estévia modificados enzimaticamente para aprimorar solubilidade e sabor (Wölwer-Rieck, 2018). Em 1993, a Associação Japonesa de Aditivos Alimentares (JAFA) publicou o primeiro protocolo oficial de controle de qualidade para o extrato de estévia, definindo uma preparação padrão de alta pureza composta por quatro glicosídeos doces principais (esteviosídeo, rebaudiosídeo A, rebaudiosídeo C e dulcosídeo A) com teor mínimo agregado de 95% desses GE (Wölwer-Rieck, 2018). Esses desenvolvimentos no Japão demonstraram a viabilidade do uso da estévia em escala industrial e abriram caminho para sua adoção em outros mercados.

Nas décadas seguintes, o cultivo e o uso da estévia expandiram-se globalmente. Países do leste e sudeste asiático como China, Coreia do Sul, Taiwan, Tailândia, Malásia e Singapura passaram a cultivar a planta e a comercializar edulcorantes derivados da estévia como alternativas ao açúcar (Orellana-Paucar, 2023). Na América do Sul, região de origem da espécie, Brasil, Paraguai e outros países também incorporaram o adoçante de estévia em produtos alimentícios e farmacêuticos, aproveitando a disponibilidade local da matéria-prima.

Fatores de saúde pública contribuíram para esse crescimento, no qual a busca por substitutos do açúcar ganhou força diante da alta prevalência de distúrbios metabólicos como diabetes tipo 2 e obesidade, o que impulsionou a demanda por edulcorantes não calóricos de origem natural (Ahmad et al., 2020; Tavarini; Passera; Angelini, 2018). Assim, já na virada do século XXI a estévia estava disseminada como adoçante em diversos países da Ásia e das Américas, embora sua penetração nos mercados ocidentais dependesse de aprovações regulatórias específicas.

Nos Estados Unidos, a Food and Drug Administration (FDA) aprovou em 2008 o uso de extratos purificados de estévia como aditivo alimentar seguro, reconhecendo especificamente certos glicosídeos de esteviol de alta pureza (especialmente o rebaudiosídeo A) como GRAS (*Generally Recognized as Safe*), o que permitiu a introdução do adoçante no mercado norte-americano (Libik-Konieczny et al., 2021). Poucos anos depois, em 2011, a União Europeia também autorizou o uso de glicosídeos de esteviol como edulcorante (sob a designação de aditivo *E960*), seguindo especificações internacionais definidas no *Codex Alimentarius* (FAO/WHO, 2024). Essas normas exigem produtos de alta pureza, ou seja, contendo no mínimo 95% em peso de glicosídeos de esteviol (soma de componentes específicos) no extrato seco (Wölwer-Rieck, 2018). Inicialmente, a legislação europeia reconheceu 11 glicosídeos distintos dentro desse padrão (esteviosídeo, esteviolbiosídeo, dulcosídeo A e rebaudiosídeos A, B, C, D, E, F e rubusosídeo) e em 2016, ampliou-se a lista para incluir um 12º composto (rebaudiosídeo M) na definição regulamentar do adoçante de estévia (Wölwer-Rieck, 2018). A adoção de critérios rígidos garantiu que somente preparados altamente purificados de estévia sejam utilizados em alimentos e bebidas, assegurando uniformidade e segurança entre os produtos comercializados.

Paralelamente à expansão regulatória e de mercado, houve consideráveis avanços agrônômicos e industriais relacionados à estévia. Desde o final dos anos 1970, programas de melhoramento genético vêm selecionando variedades de *S. rebaudiana* com maior rendimento de folhas e maior teor de glicosídeos de esteviol, visando aumentar a produtividade e a estabilidade da cultura (Libik-Konieczny et al., 2021). Buscou-se também aprimorar o perfil qualitativo dos glicosídeos produzidos pela planta, onde, por meio de cruzamentos e seleção, desenvolveram-se cultivares com proporções mais elevadas de rebaudiosídeo A (glicosídeo de sabor mais agradável) em relação ao esteviosídeo, a fim de obter um extrato mais similar ao açúcar em palatabilidade (Ahmad et al., 2020). Um exemplo foi a cultivar *Stevia rebaudiana* ‘Morita’, lançada no Japão e caracterizada por altos teores de rebaudiosídeo A nas folhas. Mais

recentemente, utilizando técnicas modernas de melhoramento genético não transgênico, obtiveram-se variedades que acumulam níveis significativamente maiores de glicosídeos menos abundantes, como rebaudiosídeo D e rebaudiosídeo M, altamente valorizados por exibirem um dulçor de qualidade ainda mais próxima ao do açúcar, sem o indesejável amargor ou retrogosto perceptível em alguns outros GE (Orellana-Paucar, 2023; Zhang et al., 2021). A cultivar comercial “Starleaf”, desenvolvida pela PureCircle®, contém teores desses glicosídeos cerca de 20 vezes superiores aos das variedades tradicionais (Ahmad et al., 2020). Tais inovações no melhoramento genético visam otimizar a qualidade sensorial do adoçante extraído das folhas, facilitando sua aceitação pelo consumidor e amplificando suas aplicações.

No âmbito industrial, o processamento da estévia também evoluiu em sofisticação para atender aos padrões de pureza e eficiência exigidos. Tradicionalmente, a extração dos glicosídeos das folhas secas é feita em água quente, obtendo-se um extrato bruto que passa por diversas etapas de purificação sequenciais (O'Donnell; Kearsley, 2012). Em processos típicos, aplicam-se precipitação de impurezas (por exemplo, remoção de proteínas por coagulação), tratamento com carvão ativado para descoloração, extração seletiva com solventes polares, uso de resinas de troca iônica para retirar sais e outros componentes indesejados e, por fim, cristalização ou secagem por spray para isolar os glicosídeos puros (O'Donnell; Kearsley, 2012; Oehme; Schwab; Wüst, 2019). Esse processamento em múltiplos estágios é necessário para remover componentes não adoçantes da folha (fibras, pigmentos, compostos fenólicos etc.) e concentrar os GE em alto grau de pureza. De fato, somente com essas técnicas de refino é possível obter produtos conformes às especificações ($\geq 95\%$ de glicosídeos) exigidas pelos órgãos reguladores (Oehme; Schwab; Wüst, 2019). Embora complexos, esses métodos foram aprimorados ao longo do tempo e tornaram viável a produção industrial de extratos de estévia consistentes e seguros para uso alimentar.

Adicionalmente, surgiram abordagens tecnológicas inovadoras para a produção de glicosídeos de esteviol, visando atender à crescente demanda e diversificar os tipos de moléculas disponíveis. Uma frente de desenvolvimento tem sido a aplicação de biotecnologia e biocatálise, onde enzimas específicas podem modificar ou produzir glicosídeos desejados a partir de precursores naturais. Por exemplo, enzimas glicosiltransferases de outras plantas (como arroz) foram expressas em microrganismos para converter rebaudiosídeo A em rebaudiosídeo D de forma eficiente, permitindo obter esse glicosídeo minoritário em quantidades comerciais sem depender da extração direta das folhas (Wang et al., 2020). Em

paralelo, empresas do setor desenvolveram leveduras geneticamente modificadas capazes de biossintetizar diretamente glicosídeos como rebaudiosídeo M e rebaudiosídeo D a partir de açúcares simples, via fermentação, eliminando a necessidade do cultivo agrícola da estévia (Zhang et al., 2021). Essas soluções biotecnológicas, incluindo também processos de glicosilação enzimática para adicionar cadeias de glicose extras aos glicosídeos (tornando-os mais solúveis e menos amargos), ampliam as possibilidades de produção e refletem um estágio avançado do desenvolvimento tecnológico associado à estévia.

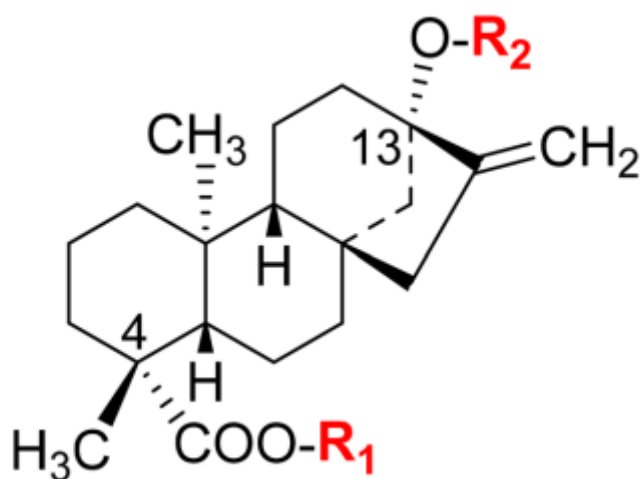
2.4.2 Glicosídeos de esteviol: panorama e principais alvos

As substâncias responsáveis pelo sabor doce da estévia são os glicosídeos de esteviol presentes nas folhas. Hoje em dia, já foram identificados dezenas de GE diferentes em *Stevia rebaudiana*, onde a literatura reporta mais de 40 estruturas distintas, embora apenas cerca de oito deles ocorram em quantidades apreciáveis na planta (Orellana-Paucar, 2023; Wölwer-Rieck, 2018). Esses oito glicosídeos principais incluem o esteviosídeo, o esteviolbiosídeo, o dulcosídeo A e os rebaudiosídeos A, B, C, D e E, que juntos podem representar aproximadamente 4% a 20% da massa das folhas secas, dependendo do genótipo e das condições de cultivo (Orellana-Paucar, 2023). Dentre esses constituintes, destacam-se quantitativamente dois, o esteviosídeo e o rebaudiosídeo A. Em cultivares tradicionais, o esteviosídeo responde pela maior fração dos GE (tipicamente 5%–10% do peso seco da folha), enquanto o rebaudiosídeo A costuma representar em torno de 2%–5% (Libik-Konieczny et al., 2021; Orellana-Paucar, 2023). No entanto, essas proporções variam, em que variedades melhoradas podem acumular muito mais rebaudiosídeo A do que esteviosídeo, chegando este a compor menos da metade do teor total de glicosídeos em alguns casos (Libik-Konieczny et al., 2021).

Quimicamente, todos os glicosídeos de esteviol compartilham o mesmo núcleo diterpênico, denominado esteviol. O esteviol é um ent-kaureno tetracíclico (ent-13-hidroxi-kaur-16-en-19-óico) que atua como aglicona comum a todos esses compostos e a ele estão ligadas porções de hidratos de carbono, onde o número e as ligações desses hidratos de carbono ao esteviol caracterizam cada um deles (Oehme; Schwab; Wüst, 2019; Wölwer-Rieck, 2018). Ou seja, as diferenças entre um GE e outro residem nas moléculas de açúcar ligadas a esse núcleo básico (Figura 3). Em geral, os glicosídeos isolados a partir das folhas da *Stevia*

rebaudiana diferem na estrutura química apenas pelo conteúdo de resíduos de carboidratos, que nas posições C13 e C19 estão ligados a mono-, di- e trissacarídeos contendo glicose e/ou ramnose (Lemus-Mondaca et al., 2012; Wölwer-Rieck, 2018).

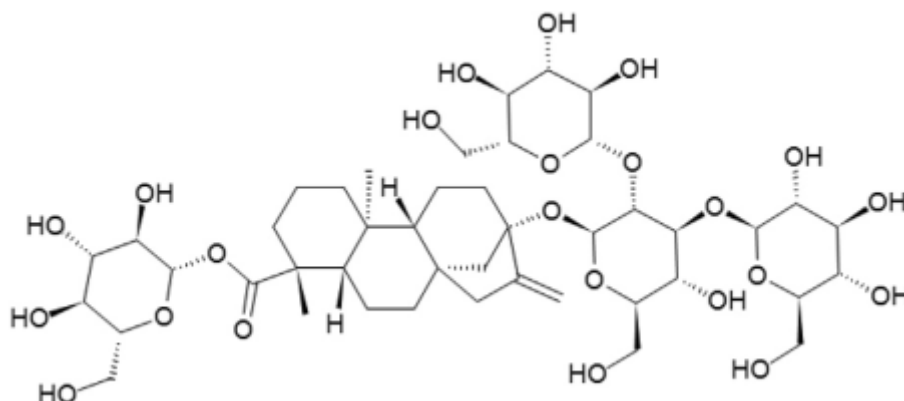
Figura 3 - Estrutura dorsal dos glicosídeos de esteviol, r1 e r2



Fonte: Wölwer-Rieck (2018).

Assim, cada glicosídeo possui um padrão de glicosilação específico, isto é, um número e tipo particular de açúcares ligados. Por exemplo, o esteviosídeo (Figura 2) consiste no aglicona esteviol ligado a três unidades de açúcar (uma molécula de glicose simples e uma molécula de sofrorse, que é um dissacarídeo de glicose) (O'Donnell; Kearsley, 2012). Já o rebaudiosídeo A (Figura 4) possui uma cadeia glicosídica adicional (um trissacarídeo de glicose), totalizando quatro monossacarídeos ligados, o que o torna mais polar e hidrofílico que o esteviosídeo (O'Donnell; Kearsley, 2012). Consequentemente, o rebaudiosídeo A apresenta maior solubilidade em água e um perfil de sabor mais suave, enquanto o esteviosídeo tende a deixar um leve amargor residual perceptível (O'Donnell; Kearsley, 2012).

Figura 4 - Estrutura química do Rebaudiosídeo A



Fonte: Karl et al. (2020).

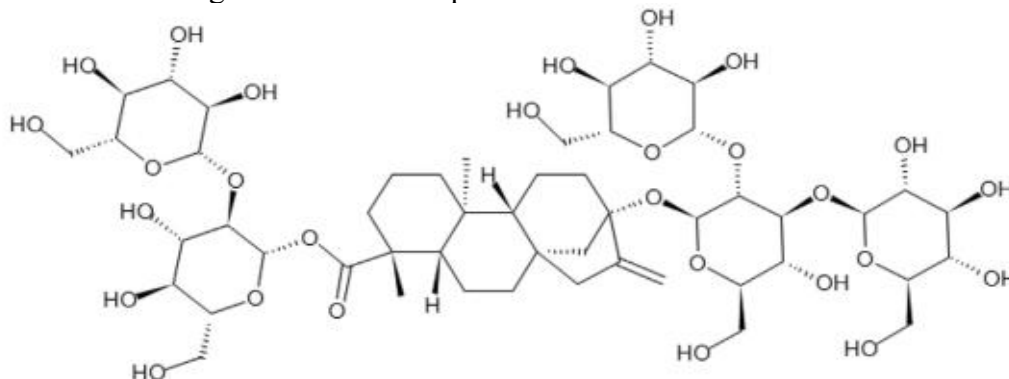
Assim, tais características são responsáveis pelas diferentes expressões sensoriais de cada glicosídeo. De modo geral, verifica-se que quanto maior o número de resíduos glicídicos ligados ao esteviol (especialmente ligações β -1,2), mais doce e “limpo” é o sabor do glicosídeo, ao passo que a incorporação de certos açúcares incomuns, como a ramnose, tende a reduzir a intensidade do dulçor (Kovylyayeva et al., 2007; Libik-Konieczny et al., 2021). Experimentos mostraram, por exemplo, que substituir um resíduo de glicose por ramnose na molécula diminui significativamente a percepção de dulçor do glicosídeo resultante (Hellfrisch et al., 2012). Assim, cada glicosídeo de esteviol possui um perfil sensorial único, variando em intensidade adoçante e nas notas residuais que acompanha seu dulçor (Orellana-Paucar, 2023; Wölwer-Rieck, 2018).

Do ponto de vista de aplicação como edulcorante, nem todos os glicosídeos de esteviol são equivalentes; alguns tornaram-se focos preferenciais (“principais alvos”) da indústria de alimentos. Inicialmente, o esteviosídeo recebeu grande atenção por ser o componente majoritário das folhas e ter sido o primeiro a ser caracterizado. Contudo, logo se identificou que o rebaudiosídeo A apresentava vantagens sensoriais importantes, com sabor doce e mais puro, com menos amargor e retrogosto residual quando comparado ao esteviosídeo (Ahmad et al., 2020; O'Donnell; Kearsley, 2012). Por essa razão, a partir dos anos 2000 o rebaudiosídeo A tornou-se o glicosídeo de esteviol mais visado para uso comercial e muitos extratos de estêvia de alta pureza são padronizados contendo predominantemente rebaudiosídeo A (p.ex., 95% ou mais) ou uma mistura rica em Reb A e esteviosídeo (Libik-Konieczny et al., 2021; Wölwer-Rieck, 2018). A superioridade do rebaudiosídeo A em termos de sabor (maior similaridade ao

dulçor da sacarose) fez com que este se tornasse, até recentemente, o “estandarte” dos adoçantes de estêvia disponíveis.

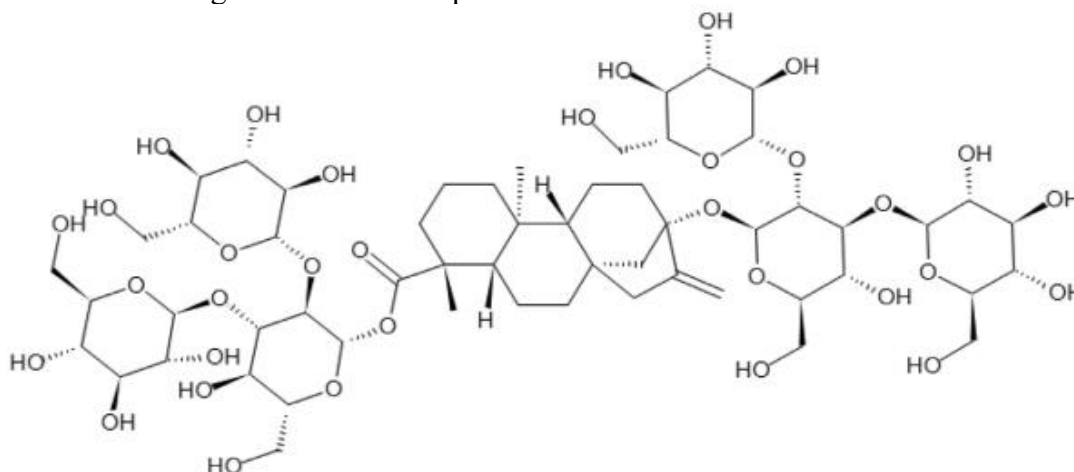
Atualmente, contudo, novos glicosídeos despontam como alvos de interesse para produtos de próxima geração. Em especial, o rebaudiosídeo D (Figura 5) e o rebaudiosídeo M (Figura 6), glicosídeos naturalmente presentes apenas em traços ínfimos nas folhas, e que vêm sendo altamente valorizados por exibirem um dulçor de qualidade ainda mais próxima ao do açúcar, sem o indesejável amargor ou retrogosto perceptível em alguns outros GE (Orellana-Paucar, 2023; Zhang et al., 2021).

Figura 5 - Estrutura química do Rebaudiosídeo D



Fonte: Karl et al. (2020).

Figura 6 - Estrutura química do Rebaudiosídeo M

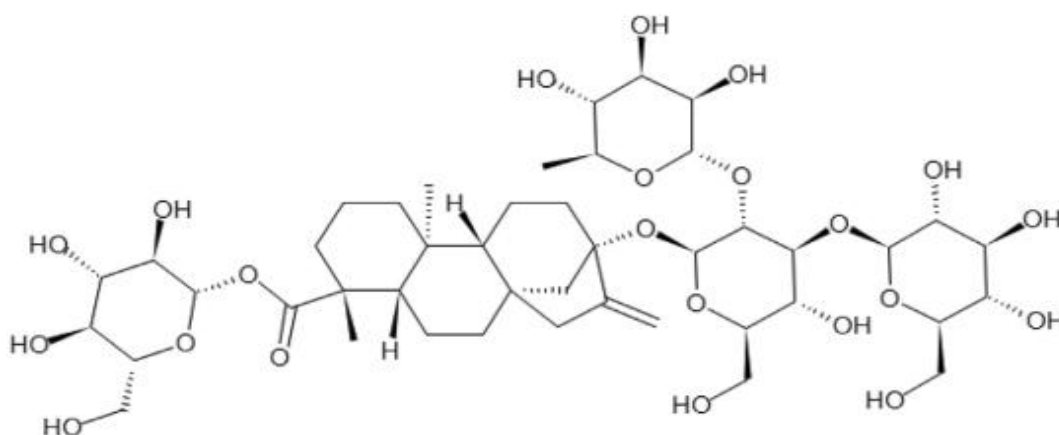


Fonte: Karl et al. (2020).

Já os glicosídeos de esteviol, Rebaudiosídeo C (Figura 7) e Rubusosídeo (Figura 8), estes apresentam perfis de polaridade/hidrofobicidade que se refletem em limiares de doçura

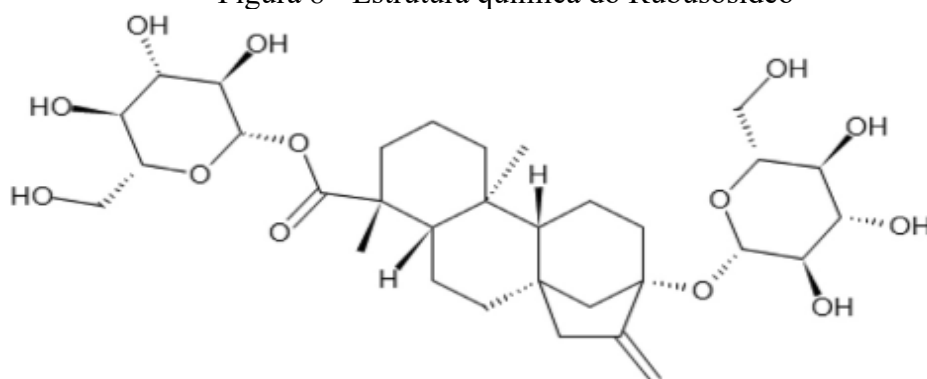
relativamente elevados (“menor doçura aparente” nas mesmas faixas de concentração) (Hellfritsch et al., 2012). Já os limiares de amargor desses mesmos compostos situam-se entre os mais baixos do painel (ou seja, amargor aparece cedo), padrão compartilhado com outros glicosídeos menos hidrofílicos e/ou contendo ramnose (como dulcosídeo A) (Hellfritsch et al., 2012). Assim, estruturalmente, a presença de ramnose em Rebaudiosídeo C está associada à redução de dulçor quando comparado a análogos com apenas glicose, o que ajuda a entender sua potência inferior e maior propensão a off-notes e, de forma convergente, o rubusosídeo, que traz apenas um resíduo β -glicosídico em C-13, mostra baixa potência (Ahmad et al., 2020; Hellfritsch et al., 2012; Tian; Zhong; Xia, 2022).

Figura 7 - Estrutura química do Rebaudiosídeo C



Fonte: Karl et al. (2020).

Figura 8 - Estrutura química do Rubusosídeo



Fonte: Karl et al. (2020).

Assim, estudos sensoriais indicam que rebaudiosídeos D e M conferem um sabor doce mais “redondo” e agradável, praticamente isento de notas residuais metálicas ou amargas, superando inclusive o rebaudiosídeo A nesse aspecto (Orellana-Paucar, 2023). No entanto, na folha esses compostos ocorrem em concentrações muito baixas (tipicamente <0,1% da matéria seca) (Wang et al., 2020). Por isso, sua obtenção em larga escala passou a depender de abordagens tecnológicas alternativas, como já discutido, por exemplo, a conversão enzimática de rebaudiosídeo A em rebaudiosídeo D usando glicosiltransferases específicas ou a produção de rebaudiosídeo M via fermentação com microrganismos especialmente desenvolvidos (Wang et al., 2020; Zhang et al., 2021). Essas soluções permitem contornar a escassez natural e atender à demanda por glicosídeos de melhor perfil sensorial. Espera-se, portanto, que futuros adoçantes de estévia empreguem cada vez mais rebaudiosídeos D e M em suas formulações, seja isoladamente ou em blends com rebaudiosídeo A, de modo a otimizar o sabor percebido pelo consumidor (Orellana-Paucar, 2023; Zhang et al., 2021).

Independentemente das diferenças estruturais e da preferência industrial por este ou aquele glicosídeo, todos os GE compartilham uma característica fundamental, são edulcorantes de alta intensidade. Eles ativam os receptores de sabor doce do paladar humano (heterodímero proteico TAS1R2–TAS1R3) de forma muito mais potente que a sacarose. Em termos quantitativos, isso se traduz em um poder adoçante da ordem de 100 a 300 vezes superior ao do açúcar para os glicosídeos principais, a depender da molécula e da matriz de aplicação (Ahmad et al., 2020; Orellana-Paucar, 2023). Ou seja, concentrações extremamente baixas de esteviosídeo, rebaudiosídeo A ou outros glicosídeos de esteviol já são suficientes para conferir o mesmo dulçor que uma alta concentração de sacarose produziria. Essa alta doçura, aliada ao fato de os GE serem não calóricos e não glicêmicos, é o que torna a estévia uma alternativa particularmente atrativa como substituto do açúcar em alimentos e bebidas.

2.4.3 Variabilidade entre produtos comerciais

Ao avaliar os adoçantes de estévia disponíveis no mercado, nota-se uma considerável variabilidade na composição e na formulação desses produtos. A primeira diferença reside no perfil de glicosídeos de esteviol presentes. Enquanto alguns fabricantes oferecem extratos de estévia de alta pureza padronizados em um único glicosídeo principal (por exemplo, Reb A 97%, essencialmente rebaudiosídeo A de elevada pureza), outros comercializam extratos

integrais da folha contendo a mistura natural de diversos GE. Diferentes fornecedores seguem especificações próprias, onde alguns produtos são quase monocomponentes (p.ex., rebaudiosídeo A isolado), ao passo que outros contêm múltiplos glicosídeos (esteviosídeo, rebaudiosídeos A, C, D etc.) nas proporções em que ocorrem na planta (Wölwer-Rieck, 2018). Ainda que todos atendam ao critério mínimo regulamentar de 95% de GE totais, variações no teor relativo de cada glicosídeo (decorrentes da cultivar de origem ou do processo de purificação empregado) podem se traduzir em sutis diferenças de sabor entre marcas. Por exemplo, extratos com maior proporção de esteviosídeo tendem a acentuar notas residuais ligeiramente mais amargas, ao passo que aqueles enriquecidos em rebaudiosídeo A costumam apresentar sabor mais limpo e suave (Orellana-Paucar, 2023; Wölwer-Rieck, 2018).

Além da composição em glicosídeos de esteviol, os produtos comerciais de estévia frequentemente incluem outros ingredientes, o que introduz um segundo eixo de variabilidade. É comum a adição de carreadores inertes aos adoçantes de estévia, especialmente nas formulações em pó granulado, com a finalidade de conferir volume, estabilidade e facilitar a dosagem do edulcorante (Ahmad et al., 2020). Esses carreadores são ingredientes de suporte (por exemplo, polióis como eritritol ou isomalte e carboidratos de alto peso molecular como a maltodextrina) que agregam volume e peso ao adoçante, permitindo que ele seja medido em colheradas similares às do açúcar comum. Ademais, o uso de carreadores pode modular a liberação do edulcorante, isto é, influenciar a forma e a velocidade com que os GE se dissolvem na fase líquida disponível ao paladar, o que acaba afetando o onset (início) e o offset (duração) da sensação de doce percebida. Por exemplo, há formulações comerciais obtidas por microencapsulação que incorporam inulina ou maltodextrina juntamente com o extrato de estévia. Essas matrizes encapsulantes liberam os glicosídeos de forma mais gradual na saliva, atenuando o pico instantâneo de sabor e diminuindo o retrogosto amargo (Ahmad et al., 2020).

De maneira semelhante, muitos adoçantes de mesa contendo estévia são diluídos em agentes de corpo. A marca Stevianna®, por exemplo, consiste em apenas 1% de rebaudiosídeo A combinado a 99% de eritritol (um poliol não calórico), de modo que seu poder adoçante total imite o do açúcar em volume e intensidade, facilitando seu uso culinário colher-a-colher (Ahmad et al., 2020). Em testes de panificação, essa mistura Stevianna conseguiu substituir 50% do açúcar em receitas de bolos tipo muffin sem comprometer a textura ou a aceitação sensorial em relação ao produto com 100% de açúcar, evidenciando o papel benéfico dos carreadores na funcionalidade do adoçante de estévia (Ahmad et al., 2020).

Outro aspecto importante é que diversos produtos de estévia no mercado são formulados como blends com outros edulcorantes, visando otimizar o sabor final. Os glicosídeos de esteviol podem ser combinados tanto entre si quanto com adoçantes de outra natureza, sejam artificiais (por exemplo, sucralose, acessulfame-K) ou naturais (por exemplo, estévia com açúcar de mesa, ou com poliol como xilitol), para, assim, criar um perfil de doçura mais equilibrado. Essas misturas exploram possíveis efeitos sinérgicos e mascaram deficiências sensoriais individuais, como, por exemplo, a adição de uma pequena fração de açúcar ou de certos adoçantes intensos a um extrato de estévia pode atenuar percepções residuais indesejáveis e conferir um sabor mais próximo ao do açúcar (Ahmad et al., 2020). Há relatos de fórmulas comerciais de estévia que incluem ingredientes como fructo-oligossacarídeos, glicosídeos de glicirrizina (alcaçuz), edulcorantes de volume (maltodextrina, sorbitol, xilitol) e até aromatizantes, todos com o intuito de melhorar a percepção sensorial, seja mascarando um leve amargor, seja “preenchendo” a doçura para torná-la mais redonda (Ahmad et al., 2020). Assim, um adoçante rotulado como “à base de estévia” pode, na prática, conter uma combinação complexa de componentes, e isso se reflete na experiência gustativa do consumidor. Alguns produtos de estévia são percebidos como tendo sabor mais próximo do açúcar do que outros, justamente por incorporarem tais coadjuvantes de sabor.

Assim, a expressão “adoçante de estévia” abrange uma diversidade de apresentações comerciais. Desde extratos 100% purificados de um glicosídeo específico até blends diluídos com maltodextrina, polióis ou outros adoçantes, o conteúdo real dos produtos varia amplamente. Essa variabilidade impacta a intensidade do dulçor percebido (já que a concentração efetiva de GE pode diferir) e o perfil sensorial, especialmente no que se refere à presença ou ausência de amargor residual e à rapidez com que o sabor doce se manifesta e se dissipa. Por isso, ao comparar diferentes marcas ou tipos de adoçantes de estévia, é fundamental considerar sua composição declarada e sua formulação. Os critérios de identidade e pureza estabelecidos em regulamentação (teor $\geq 95\%$ de GE, identificação dos principais glicosídeos) ajudam a minimizar discrepâncias, mas na prática diferenças de formulação (uso de carreadores e blends) ainda explicam por que alguns produtos comerciais de estévia podem adoçar de forma e com sabor ligeiramente distintos de outros (Ahmad et al., 2020; Orellana-Paucar, 2023).

2.4.4 Propriedades físico-químicas relevantes

Os glicosídeos de esteviol exibem um conjunto de propriedades físico-químicas que favorecem sua aplicação como adoçantes em alimentos. Em primeiro lugar, destaca-se a estabilidade. Tanto o esteviosídeo quanto o rebaudiosídeo A são moléculas mais estáveis, que em solução aquosa apresentam uma ampla faixa de temperaturas e valores de pH (Ahmad et al., 2020). Estudos demonstram que esses compostos não sofrem hidrólise ou perda de dulçor significativa em meio ácido (pH até 3) nem em meio neutro e toleram aquecimento a temperaturas de pasteurização e até de forneamento sem degradação perceptível (Ahmad et al., 2020). Em particular, o esteviosídeo exibe elevada termoestabilidade, suportando temperaturas acima de 100 °C por longos períodos, uma característica que contribuiu para sua ampla adoção em processos industriais (Ahmad et al., 2020). Essa robustez contrasta com a de alguns edulcorantes artificiais (como o aspartame), que se decompõem sob calor ou em pH extremos, sendo que, no caso da estévia, seu dulçor persevera em produtos assados, em bebidas carbonatadas ácidas e em outras condições rigorosas de processamento, sem alterações sensíveis (Ahmad et al., 2020; Orellana-Paucar, 2023).

No que tange à solubilidade em água, os glicosídeos de esteviol possuem solubilidade moderada, porém adequada às necessidades de uso. De modo geral, esses compostos se dissolvem em água em concentrações da ordem de poucos gramas por litro a 25 °C, o que é suficiente, dado que a concentração necessária para adoçar é extremamente baixa (O'Donnell; Kearsley, 2012). Entre os principais glicosídeos de esteviol, observa-se que o rebaudiosídeo A é mais solúvel que o esteviosídeo, devido à sua maior polaridade (resultante das cadeias extras de glicose em sua estrutura) (O'Donnell; Kearsley, 2012). Já glicosídeos com menos grupos hidrofílicos ou com conformações moleculares menos favoráveis tendem a apresentar solubilidade aquosa mais baixa. Um caso notável é o do rebaudiosídeo D, cujo limite de solubilidade em água é relativamente reduzido em comparação a outros GE, fator que historicamente dificultou seu uso e elevou seu custo, motivando abordagens de produção alternativas (Wang et al., 2020). Apesar disso, na prática a solubilidade raramente é um fator limitante, dado o alto poder adoçante de estévia, mesmo uma solubilidade modesta é suficiente para adoçar bebidas ou alimentos sem chegar próximo da saturação. Além do mais, técnicas como a diminuição do tamanho de partícula (micronização) ou a incorporação de co-solventes seguros podem melhorar a dispersão dos GE em líquidos, contornando eventuais restrições.

Outra propriedade relevante dos glicosídeos de esteviol é que eles não participam de certas reações químicas indesejadas nos alimentos. Por não possuírem grupamentos carbonila livres nas moléculas de açúcar (os carbonos anoméricos estão ocupados nas ligações glicosídicas), os glicosídeos de esteviol não são açúcares redutores. Isso significa que eles não desencadeiam a reação de Maillard, que é o escurecimento não enzimático que ocorre entre açúcares redutores e aminoácidos/proteínas sob calor. Em aplicações práticas, adoçar um alimento com estévia não provoca o escurecimento ou a caramelização que a sacarose ou a glicose produziriam durante o cozimento. Essa neutralidade pode ser vantajosa em produtos onde se deseja manter a cor clara ou evitar a formação de notas de caramelo. Por outro lado, em preparações como confeitos caramelizados, onde o escurecimento e o sabor de açúcar queimado são desejáveis, a estévia não fornece tais características (daí a necessidade, nesses casos, de combinar estévia e açúcar para se obter ao mesmo tempo dulçor e browning).

Do ponto de vista de estabilidade microbiológica, os glicosídeos de esteviol também são inertes, ou seja, eles não são fermentados por leveduras ou bactérias comuns. Na microbiota bucal, por exemplo, não servem de substrato fermentável para *Streptococcus mutans* (bactéria associada à cárie dentária) produzir ácidos que desmineralizam os dentes (Orellana-Paucar, 2023). Estudos in vivo confirmam que a estévia é não-cariogênica, onde ratos alimentados com dietas contendo 0,5% de esteviosídeo ou 0,5% de rebaudiosídeo A apresentaram incidência de cáries tão baixa quanto ratos controle (dieta sem açúcares adicionados), ao passo que grupos consumindo sacarose exibiram aumentos significativos nas lesões de cárie (Orellana-Paucar, 2023). Esse resultado decorre da não fermentabilidade dos GE, onde eles passam intactos pelo trato gastrointestinal superior e não são metabolizados pelas bactérias orais em subprodutos ácidos, ao contrário dos açúcares comuns (Orellana-Paucar, 2023). De modo análogo, em alimentos suscetíveis à fermentação indesejada (como sucos não fermentados ou conservas), a substituição de açúcares fermentáveis pela estévia pode melhorar a estabilidade, já que os glicosídeos de esteviol não suportam o crescimento microbiano.

Os glicosídeos de esteviol também são quimicamente estáveis a longo prazo, onde na forma em pó seco, o rebaudiosídeo A é estável durante pelo menos três anos e o esteviosídeo é estável por pelo menos dois anos, quando armazenadas adequadamente (ambiente seco, protegidas da luz e do calor excessivo), mantendo assim sua potência adoçante por longos períodos e apresentando mínima degradação ao longo do tempo (Ahmad et al., 2020; Goyal; Samsher; Goyal, 2010). Não são observadas oxidações ou polimerizações significativas desses

compostos nas condições usuais de alimentos. Além disso, os GE são relativamente pouco higroscópicos, isto é, não absorvem umidade do ar de forma pronunciada, o que facilita sua manipulação e armazenamento como pós cristalinos (Goyal; Samsher; Goyal, 2010). Em formulações líquidas, como concentrados e xaropes, a estabilidade também é alta. Testes mostram que soluções de rebaudiosídeo A podem permanecer estáveis por meses sem perda de doçura, mesmo em meio ácido (Lemus-Mondaca et al., 2012).

2.4.5 Propriedades sensoriais da estévia

Os glicosídeos de esteviol constituem uma família de edulcorantes de alta intensidade, cuja percepção do dulçor decorre da ativação do receptor doce TAS1R2/TAS1R3 na língua. Em termos operacionais, sua potência de dulçor costuma ser expressa como equivalência de doçura em relação à sacarose (EQS), isto é, a concentração de sacarose que produz intensidade de doçura semelhante à de uma dada concentração do GE. Em soluções aquosas, valores de potência frequentemente situam-se em ordens de centenas de vezes a sacarose, mas esses valores dependem de variações conforme a molécula, a matriz e o método psicofísico empregado (Ahmad et al., 2020; O'Donnell; Kearsley, 2012; Orellana-Paucar, 2023).

De modo geral, rebaudiosídeo A (Reb A) apresenta potência usualmente superior à do esteviosídeo, enquanto rebaudiosídeos D e M (Reb D/M) exibem potências comparáveis ou superiores, com perfil de sabor mais limpo e menor amargor residual do que rebaudiosídeo A e esteviosídeo, ao passo que rubusosídeo, rebaudiosídeo C e esteviosídeo costumam exibir amargor mais evidente (Ahmad et al., 2020; Hellfritsch et al., 2012; Orellana-Paucar, 2023; Prakash; Markosyan; Bunders, 2014; Tian; Zhong; Xia, 2022). A Tabela 5 sintetiza, para os principais GE (esteviosídeo, Reb A, Reb C, Reb D, Reb M e Rubusosídeo), a potência relativa estimada, o perfil temporal (definido adiante) e os residuais predominantes.

Tabela 5 - Perfil temporal e residuais predominantes dos principais glicosídeos de esteviol (continua)

Glicosídeo de esteviol	Potência relativa (vs. sacarose)*	Perfil temporal (onset/offset; métricas)	Residual predominante	Observações para P&D
Esteviosídeo	200–300×	Onset mais lento; offset prolongado; T1D↑, TP↑, AUC↑	Amargor e metalicidade mais salientes	Potente, porém com off-notes; tende a maior coativação TAS2R4/14; requer mascaradores ou blends
Reb A	300–450×	Onset moderado; offset prolongado, porém menor que ST; T1D e TP intermediários	Leve amargor e discreta adstringência; mais “limpo” que ST	Padrão de mercado; bom compromisso potência/qualidade, mas ainda pode requerer correção de residual
Reb D	200–450×	Onset mais rápido; offset mais curto que Reb A; T1D↓, TP↓, AUC ajustado	Residual doce mais suave; menor amargor	Alvo preferencial para melhor qualidade sensorial; disponibilidade via bioconversão
Reb M	200–350×	Onset relativamente mais rápido; offset reduzido; T1D↓, TP↓, AUC adequado à matriz	Perfil mais “limpo”, próximo à sacarose, com off-notes mínimos	“Próxima geração” para aceitação sensorial; obtido por fermentação/bioconversão; adequado a blends iso-doces
Reb C	50–120×	Onset moderado/lento; para atingir iso-doce exige ↑concentração; relação T1D/TP desfavorável em níveis altos	Amargor mais precoce; notas “licorosas” /metálicas podem emergir	Contém ramnose → menor doçura aparente; usar em baixas EQS e blendar com Reb D/M + mascaradores

Tabela 5 - Perfil temporal e residuais predominantes dos principais glicosídeos de esteviol (conclusão)

Rubusosídeo	50–120×	Doçura cresce, mas pode declinar em concentrações altas; onset moderado; offset pode se alongar de acordo com a dose	Amargor crescente; residual perceptível	Baixa potência relativa; evitar supra-dosagem (zona de supressão doce↔amargo); preferir blends e ajustes de matriz
-------------	---------	--	---	--

Fontes: Hellfritsch et al. (2012); Karl et al. (2020); O'Donnell; Kearsley (2012); Orellana-Paucar (2023); Philippaert et al. (2018); Prakash; Markosyan; Bunders (2014); Wang et al. (2020); Zhang et al. (2021)).

No domínio temporal, a experiência de doçura pode ser descrita por métricas de tempo-intensidade, incluindo o T1D (tempo até a primeira detecção / Tfirst), TP (tempo até o pico de intensidade / Tmax) e AUC (área sob a curva de intensidade ao longo do tempo). Em comparação à sacarose, os GE tendem a apresentar onset (início da percepção) mais lento e offset (tempo de extinção/persistência) mais prolongado, produzindo sensação de doçura que se instala gradualmente e permanece após a deglutição (O'Donnell; Kearsley, 2012; Orellana-Paucar, 2023; Philippaert et al., 2018). Essa assinatura temporal varia entre moléculas e relatos indicam que Reb D e Reb M exibem menor T1D e residual mais curto que Reb A, ao passo que o esteviosídeo costuma apresentar maior persistência associada a off-notes (Ahmad et al., 2020; Orellana-Paucar, 2023; Prakash; Markosyan; Bunders, 2014). Em termos de limiar, Reb C e rubusosídeo exigem concentrações mais altas para atingir a primeira detecção do doce, mas o amargor emerge cedo, o que deteriora a relação doce/amargo em iso-doce elevados (Hellfritsch et al., 2012). Assim, em termos práticos, perfis com AUC elevada e offset longo podem favorecer aplicações em que se deseja doçura sustentada, porém exigem manejo sensorial para limitar pós-sabor indesejado em categorias sensíveis (O'Donnell; Kearsley, 2012; Philippaert et al., 2018).

Quanto à qualidade do sabor, a literatura descreve diferenças consistentes entre os GE. Em comparação direta, o esteviosídeo tende a apresentar amargor e metalicidade residuais mais pronunciados, enquanto Reb A é percebido como mais “limpo”, com menor amargor e menor adstringência (Ahmad et al., 2020; O'Donnell; Kearsley, 2012; Orellana-Paucar, 2023). Como

já dito anteriormente, há evidências de que cada glicosídeo expressa propriedades sensoriais distintas, notadamente na doçura e nos off-notes. Estudos clássicos relatam potência de doçura do esteviosídeo inferior à de Reb A e maior amargor residual, o que historicamente limitou seu uso isolado na indústria, ao passo que a qualidade global do gosto de Reb A é considerada superior (Lindley, 2012). Em aplicações específicas, observou-se que, em bebidas adoçadas, o fator sensorial de maior relevância pode ser justamente o residual (Melby et al., 2016). Em soluções aquosas com extrato de estévia (misturas de esteviosídeo e Reb A), foram descritas notas persistentes de alcaçuz e gostos amargo e metálico sob ingestão sucessiva (Withers et al., 2016). Outros trabalhos reforçam a percepção de doçura intensa acompanhada por residuais amargo/metálico em determinados contextos e matrizes (Azevedo et al., 2017; Goyal; Samsher; Goyal, 2010; Sharma; Thakral; Thakral, 2009). Preparações baseadas em Reb D/M costumam reduzir ainda mais esses off-notes, aproximando a qualidade do dulçor ao padrão da sacarose em diversas matrizes (Orellana-Paucar, 2023; Prakash; Markosyan; Bunders, 2014). Como já foi dito, essas diferenças sensoriais correlacionam-se com aspectos estruturais, onde aumenta-se a probabilidade de um dulçor “mais limpo” quando há maior grau de glicosilação com glicose nos sítios C-13/C-19 do esteviol (maior polaridade e hidrossolubilidade), ao passo que substituições por ramnose ou xilose tendem a reduzir a potência de dulçor e favorecer percepções amargas (Libik-Konieczny et al., 2021; O'Donnell; Kearsley, 2012; Watanabe et al., 2023).

A base fisiológica desses fenômenos combina ativação doce e coativação amarga. Segundo Hellfritsch et al. (2012), além de agonistas de TAS1R2/TAS1R3, alguns glicosídeos de esteviol ativam receptores de amargor humanos, notadamente hTAS2R4 e hTAS2R14, explicando o perfil amargo e metálico residual observado para determinados compostos. Esses autores também descrevem que a queda aparente da intensidade doce em altas concentrações de certos GE não resulta de ajustes do receptor doce feitos por ligações em outro ponto do próprio receptor, mas sim de interferência entre os sinais doce e amargo, em que um reduz a percepção do outro, gerados pelo mesmo estímulo, aspecto relevante para delinear faixas ótimas de uso (Hellfritsch et al., 2012). Em complemento, Philippaert et al. (2018) sintetizam a via de transdução do doce (TAS1R2/TAS1R3 → PLCβ2 → liberação de Ca²⁺ → ativação de TRPM5 → liberação de ATP para fibras aferentes) e discutem como a ativação paralela de TAS2R em células gustativas tipo II contribui para off-notes.

Do ponto de vista aplicado, estratégias sensoriais costumam conjugar seleção de moléculas, composição de blends e modulação tecnológica. Em primeiro lugar, a priorização de Reb D e M em substituição parcial ou total de Reb A e esteviosídeo tem sido utilizada para reduzir amargor e metalidade e ajustar a curva temporal (Orellana-Paucar, 2023; Prakash; Markosyan; Bunders, 2014). Em segundo lugar, combinam-se GE a portadores (p.ex., eritritol, maltodextrina) ou a moduladores de sabor (mascaradores de amargor) para alterar liberação e onset/offset, suavizando o pós-sabor e aproximando o perfil temporal ao da sacarose (Ahmad et al., 2020; O'Donnell; Kearsley, 2012). Em contextos específicos, microencapsulação e ajustes de pH e aromatização podem reduzir a saliência de TAS2R, melhorando a aceitação (Ahmad et al., 2020; Orellana-Paucar, 2023). Resultados recentes em produtos lácteos fermentados ilustram que combinações adequadas e definição iso-doce podem elevar a aceitação relativa de formulações com estévia quando comparadas a versões com GE isolados sem otimização (Crown et al., 2024), reforçando a importância de calibrar EQS, onset/offset e off-notes para cada matriz.

Do ponto de vista metodológico, recomenda-se que estudos de caracterização sensorial de GE empreguem, além de escalas de intensidade, protocolos temporais (p.ex., tempo-intensidade e TDS (Temporal Dominance of Sensations)). Esses métodos capturam dominâncias temporais de atributos como doce, amargo, metálico e adstringente, permitindo relacionar métricas como T1D, TP e AUC com decisões de formulação (O'Donnell; Kearsley, 2012; Philippaert et al., 2018). Quando o objetivo é equiparar doçura percebida entre tratamentos, recomenda-se determinar EQS na matriz-alvo antes de testes de aceitação e de dinâmica temporal, reduzindo vieses decorrentes de diferenças de intensidade (Crown et al., 2024; O'Donnell; Kearsley, 2012).

2.4.6 Perspectivas funcionais, uso e aplicações

As folhas de *Stevia rebaudiana* apresentam características funcionais e sensoriais consideradas competitivas em relação a outros edulcorantes de alta potência e são apontadas como fonte relevante para o mercado de alimentos de perfil “natural” (Goyal; Samsher; Goyal, 2010). Do ponto de vista energético, os glicosídeos de esteviol são isentos de calorias nas condições usuais de uso e podem se empregar quantidades ínfimas para atingir equivalência de doçura e, assim, poder substituir açúcar e/ou adoçantes artificiais em múltiplas categorias

(Anton et al., 2010; Savita et al., 2004). Estudos reportam potencial contribuição para manejo de ingestão calórica e controle de peso quando empregados em reformulação de produtos (Fry, 2014), com relatos adicionais, em contextos específicos, de associações com parâmetros metabólicos (glicemia e lipídios séricos) (Abo Elnaga et al., 2016). No caso de diabetes, há evidências de que esteviosídeo e rebaudiosídeo A podem estimular secreção de insulina apenas em faixas glicêmicas elevadas, sugerindo efeito dependente da concentração de glicose (Abudula et al., 2004). Esses achados, ainda que promissores, demandam avaliação crítica de desenho experimental, matriz e dose antes de extrapolações generalistas para recomendações de saúde pública (Abo Elnaga et al., 2016; Ghanta et al., 2007).

Por fim, pelas propriedades antioxidantes, tem crescido o interesse em preparações de folhas (p.ex., infusões), atribuídas a teores de flavonoides e compostos fenólicos (Periche et al., 2015). Em paralelo, do ponto de vista de mercado e portfólio, extratos de folhas e misturas de GE encontram uso consolidado em diversas regiões (Japão, Coreia, China, Sudeste Asiático e América do Sul) e em ampla gama de produtos, como bebidas e refrigerantes, sobremesas, molhos, pães, iogurtes, table-top sweeteners, pickles e confeitos, entre (Goyal; Samsher; Goyal, 2010; Jayaraman; Manoharan; Illanchezian, 2008; Koyama et al., 2003; Tadhani; Subhash, 2006). Em termos de P&D, a seleção do(s) GE(s), o desenho do blend e a definição de EQS por matriz permanecem decisivos para equilibrar potência de doçura, assinatura temporal e off-notes, maximizando aceitação sensorial e posicionamento “clean label”.

2.5 Análise sensorial

A análise sensorial é uma ciência multidisciplinar que integra fundamentos da ciência dos alimentos, psicologia, fisiologia humana, estatística e sociologia, além do conhecimento prático de preparação de produtos, visando produzir respostas objetivas sobre alimentos e sobre a forma como são percebidos pelos seres humanos (Stone; Sidel, 2004). Concretiza-se como um conjunto de métodos e técnicas para perceber, descrever, medir, analisar, identificar e interpretar reações às propriedades sensoriais por meio de visão, olfato, gosto, tato e audição (Gularte, 2002; Minim, 2010).

No contexto industrial, a análise sensorial opera como uma estrutura estratégica diante da variabilidade das necessidades do consumidor, exigindo seleção criteriosa de métodos, desenho experimental robusto e avaliações válidas e reproduzíveis (Tuorila; Monteleone, 2009).

A validade dos resultados depende de provadores sensíveis e consistentes, bem como da atuação do profissional sensorial como elo entre tecnologia, desenvolvimento de produto e mercado, antecipando impactos de alterações de formulação ou processo na aceitação (Cruz et al., 2010; Orvalho, 2010).

A relevância dessa abordagem torna-se evidente em reformulações críticas ao perfil sensorial, como a substituição de sacarose por edulcorantes. Nesses cenários, painéis de provadores são empregados para estimar potência de doçura e estabelecer concentrações de uso equivalentes às da sacarose, preservando o sabor esperado (Cardoso; Cardelo, 2003; De Souza et al., 2011). A doçura percebida, entretanto, é modulada por fatores como temperatura de consumo, pH, composição da matriz e diferenças individuais de sensibilidade, o que impõe condições de teste rigidamente controladas (Kim; Dubois, 1991).

Entre os procedimentos de quantificação, destacam-se métodos psicofísicos como a Estimação de Magnitude combinada à Lei da Potência, úteis para modelar relações entre estímulo físico e sensação percebida. Embora conceitualmente acessíveis, exigem rigor operacional para mitigar vieses e têm sido aplicados com sucesso para estabelecer equivalência de doçura de diferentes edulcorantes em variadas matrizes (Han; Song; Kwahk, 1999; Cardoso; Bolini, 2007; De Souza et al., 2011, 2013; Freitas; Dutra; Bolini, 2014; Moskowitz, 1970; Reis et al., 2011).

Para além da intensidade doce, a caracterização do perfil e da dinâmica temporal é crucial, dado que edulcorantes podem induzir notas amargas, metálicas ou residuais e interagir com outros gostos da matriz, inclusive com acidulantes, afetando a qualidade do sabor e implicações tecnológicas e comerciais (O'Briens-Nabors, 2012; Lawless; Heymann, 2010; Lindley, 2012). Métodos temporais, especialmente a Dominância Temporal das Sensações (TDS), monitoram a sequência de sensações dominantes ao longo da ingestão, priorizando a sensação que mais captura a atenção a cada instante e oferecendo explicações finas para aceitação ou rejeição; sua aplicação tem sido bem-sucedida em diferentes contextos (Cadena et al., 2014; Da Silva et al., 2014; Pineau et al., 2009a; Rodrigues et al., 2016; Thomas et al., 2015; Zorn et al., 2014).

2.5.1 Importância da análise sensorial

Como disciplina aplicada, a análise sensorial distingue-se pela versatilidade e pela utilidade transversal na Ciência de Alimentos, integrando conhecimentos de múltiplas áreas para compreender as respostas que os produtos suscitam nos consumidores (Meilgaard; Carr; Civille, 2006). É componente essencial no desenvolvimento de produtos em organizações alimentícias e não alimentícias, pois fornece evidências sobre a percepção diante de mudanças de embalagem, ingredientes e vida de prateleira (Stone; Sidel, 2004). Diferentes estudos relatam sua aplicação com objetivos diversos, visando gerar conhecimento e fundamentar a obtenção de produtos superiores (Cruz et al., 2010).

No contexto corporativo, sua função central é viabilizar testes válidos e confiáveis que embasam decisões, reduzindo riscos de desenvolvimento e orientando estratégias alinhadas às necessidades do consumidor (Lawless; Heymann, 2010; Meilgaard; Carr; Civille, 2006). Como a meta última da inovação é a aceitação pelo consumidor, a análise sensorial torna-se crucial para entender os fatores que determinam percepções e preferências (Minim, 2010). Essa centralidade impõe desafios gerenciais e científicos, sobretudo quando resultados sensoriais orientam posicionamento competitivo ou metas de engenharia de custos sem comprometer a experiência do produto (Stone; Sidel, 2004).

Operacionalmente, a análise sensorial identifica e estuda características de qualidade, entre elas, sabor, textura, cor, odor e intensidade, com base em metodologias de coleta de dados e em métodos estatísticos de avaliação e interpretação (Minim, 2010). É ferramenta imprescindível para a determinação da qualidade de um produto, avaliação de reações humanas a atributos específicos, comparação de formulações com concorrentes ou com a original e antecipação da probabilidade de aceitação com base no desempenho sensorial (Gularte, 2002). A robustez dessas inferências depende do controle de condições de teste, da seleção e treinamento de provadores, do desenho experimental e da análise estatística apropriada (Tuorila; Monteleone, 2009).

Em aplicações específicas, como a reformulação com edulcorantes, a análise sensorial sustenta decisões sobre equivalência de doçura e ajuste fino do perfil, conciliando metas tecnológicas e expectativas hedônicas (Cardoso; Cardelo, 2003; (De Souza et al., 2011). Fatores como temperatura, pH e composição de matriz modulam a doçura percebida, exigindo protocolos rigorosamente controlados (Kim; Dubois, 1991). Métodos dinâmicos, em especial

os temporais, como a Dominância Temporal das Sensações (TDS), ampliam o diagnóstico ao capturar a evolução das sensações dominantes e orientar P&D e comunicação sensorial (Cadena et al., 2014; Lawless; Heymann, 2010; Pineau et al., 2009). Em síntese, a análise sensorial estrutura a gestão do risco de inovação, otimiza formulações e traduz atributos técnico-tecnológicos em desempenho percebido, conectando laboratórios, fábricas e mercados (Cruz et al., 2010; Stone; Sidel, 2004).

2.5.2 Escala de magnitude

A técnica de Magnitude Estimation (Estimativa de Magnitude) é um método psicofísico desenvolvido por Stevens (1957) e amplamente utilizado em avaliação sensorial para traduzir percepções humanas em escalas numéricas racionais (Lawless; Heymann, 2010; Meilgaard; Carr; Civille, 2006). A estimação de magnitude, também conhecida como função de potência, destaca-se como uma das metodologias mais relevantes na análise sensorial. Sempre que um ingrediente é parcial ou totalmente substituído, torna-se necessário estabelecer a “equivalência perceptiva” entre o novo componente e aquele tradicionalmente utilizado. Essa técnica permite determinar a percepção de intensidade de diferentes atributos, como doçura, salinidade ou textura, de forma quantitativa e escalável (Lawless; Heymann, 2010; Meilgaard; Carr; Civille, 2006; Moskowitz, 1970; ASTM E1697-05). Esse método é especialmente útil na reformulação de produtos alimentícios, pois auxilia na substituição de ingredientes mantendo a percepção sensorial original.

No contexto de salinidade, por exemplo, a determinação da equivalência por escala de magnitude constitui etapa preliminar indispensável para definir a dosagem de substitutos a fim de reproduzir a mesma sensação de sal conferida pelo cloreto de sódio (Souza et al., 2013). O procedimento opera com uma amostra de referência à qual se atribui um valor arbitrário (p. ex., 100). Em seguida, os julgadores devem avaliar, em ordem casualizada, amostras mais fracas ou mais fortes que a referência e lhes atribuem números proporcionais: uma amostra percebida como “duas vezes mais salgada” recebe 200; se “metade”, recebe 50 (Lawless; Heymann, 2010).

Como diferentes provadores tendem a adotar escalas numéricas de amplitude própria, é necessária a padronização dos dados antes da análise estatística, evitando que quem usa números mais altos tenha peso indevido em médias e testes. Essa etapa, muitas vezes chamada

de “normalização” na prática sensorial (ASTM, 2008), não se confunde com padronização para distribuição normal ou escores-Z (Lawless; Heymann, 2010). Um procedimento comum combina reescalonamento individual com o uso de médias geométricas, mitigando a assimetria típica de dados de razão (BUTLER et al., 1987; Lane; Catania; Stevens, 1961).

Em termos operacionais, calcula-se a média geométrica das notas de cada provador e, depois, a média geométrica global. A razão entre a média global e a média individual gera um fator de reescalonamento para cada julgador; multiplica-se cada observação desse julgador por seu respectivo fator, obtendo-se um conjunto de dados comparável entre indivíduos. Em seguida, é comum transformar as respostas em logaritmos e proceder às análises em coordenadas log-log, reduzindo heterocedasticidade e linearizando a relação psicofísica (Butler et al., 1987; Lawless, 1989; Lawless; Heymann, 2010).

Nessas coordenadas, a relação entre sensação percebida (S) e concentração do estímulo (C) tende a ajustar-se à forma $S = a \cdot C^n$, em que “a” corresponde ao antilogaritmo do intercepto e “n” é o expoente (inclinação) associado à função de potência de Stevens. Para um mesmo atributo (p. ex., salinidade entre sais ou doçura entre edulcorantes), segmentos de reta com a mesma ordenada indicam igual intensidade percebida, permitindo identificar faixas de equivalência entre ingredientes e orientar decisões de formulação com base em evidências sensoriais (Lawless; Heymann, 2010; Moskowitz, 1970).

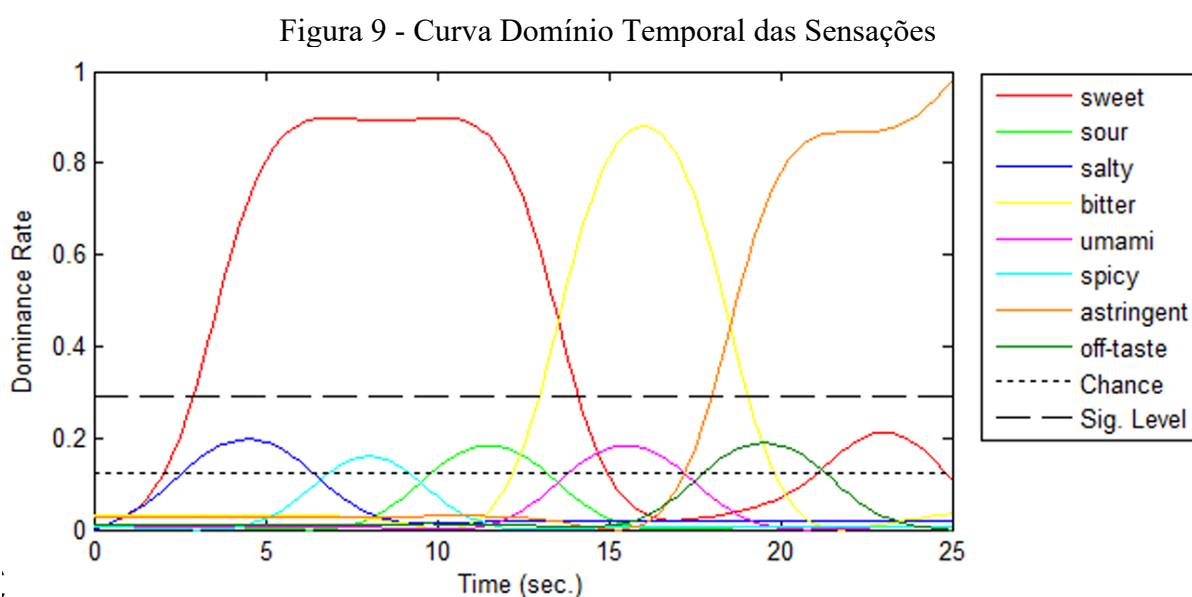
2.5.3 Dominância temporal das sensações (TDS)

A Dominância Temporal das Sensações (TDS) é uma família de técnicas voltadas a capturar variações sensoriais ao longo do tempo, permitindo delinear o encadeamento de sensações-chave que emergem durante o consumo (Pineau et al., 2009). Mais precisamente, o TDS estuda a sequência de sensações dominantes de um produto ao longo de um período definido, monitorando as etapas de ingestão do alimento (Pineau et al., 2009). Trata-se de um método em contínua evolução, com variações procedimentais e analíticas descritas na literatura, mas que compartilha o mesmo princípio, que é registrar, em tempo real, quais atributos pré-definidos se tornam dominantes durante a experiência (Lawless; Heymann, 2010; Le Révérend et al., 2008).

Operacionalmente, apresenta-se ao julgador uma lista de atributos selecionados, tipicamente em interface computacional, e solicita-se que indique qual sensação está

dominando a percepção a cada instante, atualizando a escolha sempre que perceber mudança na sensação dominante (Lawless; Heymann, 2010; Le Révérend et al., 2008; Pineau et al., 2009). A norma ISO 13299 (2016) descreve “dominante” em TDS como “a sensação que atrai a atenção em um dado momento, o que não significa necessariamente que essa sensação seja a mais intensa no produto”. Ou seja, trata-se da sensação que capta mais a atenção ou se mostra mais marcante naquele momento (Labbe et al., 2009; Pineau et al., 2009; Pinheiro; Nunes, 2013).

A medida estatística derivada é a proporção de participantes reportando determinado atributo como dominante em cada instante temporal (Pineau et al., 2009). Embora não incorpore a magnitude de intensidade, essa proporção produz uma métrica percentual simples, suscetível de ser plotada ao longo do tempo para formar curvas de dominância (suavizadas) por atributo (Figura 9). Um limiar de significância pode ser representado como linha horizontal, indicando os intervalos em que um atributo se apresenta significativamente dominante (Lawless; Heymann, 2010).



Fonte: Nunes e Pinheiro (2013).

As curvas de dominância permitem comparações qualitativas entre produtos e formulações, como por exemplo, um produto que inicia com doçura dominante e migra para adstringência, em contraste com outro que começa ácido e evolui para notas frutadas, contribuindo assim para compreender o impacto temporal de cada aspecto sensorial na

experiência de consumo e sua relação com a aceitação (Albert et al., 2012; Lawless; Heymann, 2010). Em complemento, evidências sugerem que os resultados de TDS explicam melhor percepções dinâmicas e podem identificar com maior precisão as sensações que determinam a aceitação do consumidor (Cadena et al., 2014). O uso do TDS tem sido bem-sucedido em diversos estudos de caracterização sensorial, incluindo aplicações em diferentes matrizes e contextos (Da Silva et al., 2014; Rodrigues et al., 2016; Thomas et al., 2015; Zorn et al., 2014).

2.5.4 Mousse de chocolate vegano como matriz alimentar

A mousse é uma sobremesa aerada e estabilizada, reconhecida por sua textura leve, cremosa e por sua estrutura espumosa característica. Tradicionalmente, mousses à base de laticínios são formuladas com gordura de creme (aproximadamente 8%), leite em pó desnatado (12%), sacarose (12%) e uma combinação de gelatina e emulsificantes (3%). Após o aquecimento da mistura, realiza-se a aeração contínua em equipamento específico, obtendo-se overrun entre 60% e 100%, o que define a leveza e a densidade do produto. A estabilidade e a qualidade da espuma dependem diretamente da eficiência do emulsificante, que promove a formação de bolhas de ar finas e uniformes, e da gelatina, responsável pela estruturação e consistência da sobremesa (Chandan; Kilara, 2015).

O crescente interesse dos consumidores por alimentos à base de plantas e isentos de ingredientes de origem animal tem impulsionado o desenvolvimento de versões veganas de mousses, que buscam reproduzir as propriedades sensoriais dos produtos convencionais. Essa reformulação, no entanto, representa um desafio tecnológico, uma vez que proteínas lácteas e gelatina, fundamentais para a incorporação e estabilização do ar, precisam ser substituídas por componentes vegetais capazes de desempenhar funções semelhantes. Pesquisas recentes demonstram que proteínas vegetais provenientes de ervilha, soja e feijão (kidney bean) podem atuar como agentes estabilizantes de espuma eficazes, produzindo mousses com textura e consistência comparáveis às versões tradicionais quando adequadamente processadas e formuladas (Czaja et al., 2025).

Evidências recentes indicam ainda que a própria denominação de venda molda expectativas sensoriais em sobremesas vegetais. Por exemplo, no estudo de (Silas Souza et al., 2024a) com consumidores, rótulos como “mousse” versus denominações alternativas (p. ex., “creme” ou “sobremesa cremosa”) reconfiguraram expectativas de aeração/cremosidade e

doçura para um mesmo produto vegano de chocolate, gerando desalinhamentos entre o que se espera e o que se percebe quando a estrutura de espuma não corresponde ao termo utilizado. Nesse contexto, a explicitação “vegano” ajustou as expectativas sem necessariamente reduzir a aceitação, ao passo que denominações mais aderentes à textura real se mostraram vantajosas (Silas Souza et al., 2024a).

Czaja et al. (2025) mostraram que o tipo de proteína vegetal utilizada influencia de forma significativa os atributos sensoriais e a consistência de mousses de chocolate. As formulações com proteínas de ervilha e soja apresentaram características mais próximas às mousses comerciais, evidenciando o potencial dessas fontes vegetais para a produção de sobremesas com desempenho sensorial satisfatório. Esses resultados indicam que ajustes no tempo de batimento, proporção de ingredientes e controle da incorporação de ar são determinantes para alcançar uma textura adequada e uma percepção equilibrada de cremosidade e leveza (Czaja et al., 2025).

Além do uso de proteínas isoladas, abordagens mais recentes têm explorado ingredientes alternativos e sustentáveis com propriedades funcionais complementares. Blumenthal et al. (2025) propuseram um modelo de engenharia reversa sensorial aplicado ao desenvolvimento de mousse de chocolate vegano, integrando preferências de consumidores nas etapas iniciais de formulação. O estudo substituiu os ovos, tradicionalmente responsáveis pela aeração e estruturação, por aquafaba (água de cozimento de grão-de-bico) e bagaço de maçã, subproduto do processamento de frutas. A formulação resultante apresentou textura e perfil sensorial muito próximos aos de uma mousse tradicional, demonstrando que sistemas vegetais otimizados podem reproduzir a experiência sensorial de sobremesas à base de ovos, além de promover ganhos em sustentabilidade (Blumenthal et al., 2025).

De modo semelhante, Karimidastjerd et al. (2023) verificaram que sobremesas veganas elaboradas com diferentes bebidas vegetais, como as de soja, aveia e coco, podem alcançar propriedades sensoriais e consistência comparáveis às versões lácteas quando os parâmetros de processamento, como a temperatura, o tempo de aquecimento e a proporção de sólidos, são adequadamente otimizados. Esses achados reforçam que a estabilidade e a aceitação sensorial de sobremesas à base de plantas dependem tanto da escolha da matriz vegetal quanto do controle cuidadoso do processo tecnológico (Karimidastjerd et al., 2023).

No contexto desta pesquisa, o mousse de chocolate vegano foi selecionado como matriz alimentar modelo para a avaliação sensorial de edulcorantes de estévia com diferentes

composições químicas. Essa matriz apresenta composição complexa, além de compostos fenólicos provenientes do cacau, que podem interagir com os glicosídeos de esteviol e modificar a percepção de doçura. Considerando as evidências sobre denominação e expectativas, é crucial registrar o *overrun* e a microestrutura da espuma e adotar uma denominação condizente com a estrutura observada (por exemplo, “mousse” apenas quando aeração e viscoelasticidade o justificarem), evitando vieses na interpretação do dulçor e de eventuais *off-notes* (Silas Souza et al., 2024a). Assim, o mousse de chocolate vegano oferece uma base sensorialmente rica e tecnicamente relevante para estudar o comportamento perceptivo de edulcorantes naturais em um sistema real de sobremesa. A compreensão dessas interações contribuirá para o desenvolvimento de produtos vegetais com perfil de dulçor sensorial mais equilibrado, podendo resultar em maior aceitação pelo consumidor.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

O mousse vegano utilizado no trabalho foi do tipo chocolate, sem adição de sacarose ou edulcorantes, o qual foi adquirido da marca da empresa Vida Veg® (Lavras-MG- Brasil). A lista de ingredientes fornecida pelo fabricante inclui leite de coco, amido de milho modificado, cacau, fibra de raiz de chicória, aroma natural e conservante (sorbato de potássio). Os demais ingredientes foram a sacarose e cinco estévias comerciais diferentes aqui chamados de Estévia A, Estévia B, Estévia C, Estévia D e Estévia E.

3.2 Análise sensorial

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Lavras (CAAE: 53271221.8.0000.5148). Todos os testes foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA, sob condições ambientais controladas, conforme recomendado pela norma ISO 8589 (2007) e pelas boas práticas de análise sensorial (Lawless; Heymann, 2010).

3.2.1 Seleção de provadores

Provadores foram selecionados para a realização dos testes Estimção de Magnitude e Dominância Temporal das Sensações, uma vez que para estes testes exigem-se provadores com habilidades em reconhecer os diferentes gostos e intensidade dos mesmos.

O recrutamento dos candidatos à seleção de provadores foi realizado nas dependências da UFLA. Foram convidados interessados em participar da pesquisa sem restrições ao consumo de estévia, a qualquer componente da mousse de chocolate vegana ou a outros edulcorantes de alta potência.

Para compor o painel sensorial, a seleção foi realizada em duas etapas. A primeira etapa consistiu no teste de reconhecimento de gostos básicos de acordo com o ISO 8586: 2012. Os candidatos aprovados nessa etapa foram conduzidos para a segunda etapa, onde foi avaliada a habilidade discriminativa de amostras dos provadores por meio de uma sequência de testes

triangulares (Meilgaard; Carr; Civille, 2006). Um teste de comparação pareada foi realizado inicialmente para estabelecer a diferença entre as duas amostras a serem usadas nos testes triangulares. Nesse teste, duas amostras de mousse de chocolate vegano foram formuladas com duas concentrações distintas de sacarose (10% e 15%). As duas amostras foram apresentadas aos provadores e o resultado do teste confirmou que as amostras possuíam 1% de diferença.

Posteriormente aplicou-se a análise sequencial de Wald (Amerine, Pangborn & Roessler, 1965) para verificar a aptidão dos candidatos em discriminar amostras (Meilgaard; Carr; Civille, 2006). Para isto utilizaram-se os valores de $p=0,30$ (máxima inabilidade aceitável), $p_1=0,70$ (mínima habilidade aceitável), e para os riscos $\alpha=0,10$ (probabilidade de aceitar um candidato sem acuidade sensorial) e $\beta=0,10$ (probabilidade de rejeitar um candidato com acuidade sensorial). A partir dos parâmetros definidos, foram obtidas duas equações de reta utilizadas para construir o gráfico de análise de Wald com três áreas, sendo elas aceitação, dúvida e rejeição. Os provadores foram selecionados ou rejeitados de acordo com o número de testes corretos analisados no gráfico. Vinte e dois provadores foram selecionados para o teste de determinação das concentrações equivalentes de doçura dos quatro glicosídeos de esteviol comerciais diferentes e para o TDS.

3.2.2 Determinação da equivalência de doçura

3.2.2.1 Treinamento para a análise com escala de magnitude

Para a determinação da equivalência de doçura das estévias em relação à doçura de sacarose utilizada pela indústria em mousse de chocolate, foi utilizado o método sensorial de Escala de Magnitude, sendo que o painel previamente passou por etapas de treinamento. A concentração de referência para a sacarose para a determinação da equivalência e potência de doçura foi fixada em 10%, valor próximo ao usualmente comercializado (9,5%).

O treinamento do painel sensorial consistiu na familiarização com a metodologia de escala de magnitude ou estimação de magnitude, memorização da referência, aperfeiçoamento das habilidades de reconhecer diferentes intensidades de doçura e explicações detalhadas sobre o uso correto da escala (Souza et al., 2011). Para o treinamento, foram utilizadas três amostras de mousse adoçadas com sacarose nas concentrações de 6,25%, 10% e 16%. A amostra de 10% foi definida como referência (R), à qual se atribuiu o valor fixo de 100 unidades de intensidade

de doçura. Os avaliadores foram instruídos a estimar a intensidade de doçura das demais amostras em relação à referência (por exemplo, metade da doçura = 50; o dobro = 200). Cada avaliação foi realizada em três repetições independentes.

3.2.2.2 Determinação da equivalência e potência de doçura

Posterior ao treinamento, para definir a série de concentrações, a sacarose foi escalonada com fator de multiplicação 1,6 conforme Souza et al. (2011). Já para os substitutos à base de glicosídeos de esteviol, as concentrações centrais foram determinadas por pré-testes baseados na literatura de potência de doçura (Kim; Dubois, 1991; Lindley, 2012), onde foram escalonadas com fator 2,0, de modo a cobrir adequadamente a faixa perceptiva de doçura (Tabela 6). Os testes foram conduzidos em três sessões independentes, tanto para a sacarose quanto para cada um dos substitutos.

Tabela 6 - Concentrações das amostras de sacarose e dos substitutos da mesma utilizadas para determinar a equivalência de doçura em relação a referência de 10%

Amostra		Concentração %			
Sacarose	3.9	6.25	10	16	25,6
Estévia A	0.032	0.064	0.128	0.256	0.512
Estévia B	0.0555	0.111	0.222	0.444	0.888
Estévia C	0.0255	0.051	0.102	0.204	0.408
Estévia D	0.01025	0.0205	0.041	0.0829	0.1659
Estévia E	0.02747	0.05494	0.10988	0.21976	0.43952

Fonte: elaboração própria.

Durante a avaliação, os provadores receberam inicialmente uma amostra de referência (R), mousse com 10% de sacarose, à qual foi atribuído o valor arbitrário de 100 unidades de intensidade de doçura. Em seguida, foram apresentadas cinco amostras de mousse (12 g cada), contendo diferentes concentrações de sacarose ou de seus substitutos, devidamente codificadas com números aleatórios de três dígitos e servidas em ordem balanceada (MACFIE et al., 1989). Os provadores foram instruídos a estimar a intensidade relativa de doçura das amostras em

comparação à referência. Por exemplo, caso a amostra apresentasse doçura equivalente ao dobro da referência, deveria receber valor 200 e, caso fosse percebida como metade, valor 50, e assim sucessivamente.

Para a análise dos dados, tal como descrito por Souza et al. 2013, os valores de magnitude atribuídos pelos provadores foram convertidos em médias geométricas e ajustados em escala logarítmica. Para cada glicosídeo e para a sacarose, foi ajustada uma equação de regressão linear do tipo $y = a + bx$, na qual y corresponde à resposta sensorial e x à concentração do estímulo. Esses modelos permitem expressar a relação estímulo-resposta por meio de uma função potencial (*Power Function*), representada pela equação $S = aC^n$, em que S é a sensação percebida, C a concentração do estímulo, a o antilogaritmo do intercepto e n o coeficiente angular da reta (Moskowitz, 1970).

A determinação da concentração equivalente dos substitutos foi realizada a partir da função obtida para a sacarose. Considerando-se 10% de sacarose como concentração de referência, obteve-se o valor de S correspondente à sensação de doçura do mousse padrão. Esse valor de S foi então inserido nas equações ajustadas para os edulcorantes, permitindo calcular a concentração necessária de cada substituto para reproduzir a mesma percepção de doçura do padrão com 10% de sacarose (Moskowitz, 1970; Souza et al., 2011).

A potência relativa de doçura de cada substituto foi definida pela razão entre a concentração de sacarose utilizada (10%) e a concentração equivalente do respectivo edulcorante. Assim, a potência corresponde ao número de vezes que cada composto é mais doce que a sacarose, em condições equivalentes de percepção sensorial (Souza et al., 2011).

3.2.3 Dominância temporal das sensações

A análise de TDS foi realizada nas amostras de mousse de chocolate vegano adoçadas com sacarose (10%) e com cada um dos edulcorantes de estévia (Tabela 6), nas concentrações equivalentes à doçura de sacarose (10%), previamente definidas na etapa de determinação de equivalência. O painel inicialmente realizou um treinamento para familiarização com o teste, uso do software e com os atributos sensoriais, o qual consistiu em três amostras de mousse de chocolate vegano, primeiro com uma amostra sem dulçor, a segunda amostra adoçada com 10% de sacarose e a terceira amostra foi adoçada com uma Estévia à 0,015%. Os atributos avaliados nas etapas do TDS foram: aguado, amargo, cacau e doce, os quais foram definidos a partir dos

termos com maior frequência de citação no estudo de Silas Souza et al. (2024). O tempo total de duração foi de 50 segundos, baseados no treinamento dos provadores. Para a aquisição de dados e geração de resultados foi utilizado o software SensoMaker versão 1.9 (Nunes & Pinheiro, 2013).

Durante os testes, os provadores foram solicitados a colocar toda a amostra na boca de uma vez (10g) e solicitados a selecionar sensação percebida como dominante ao longo do tempo de ingestão (50 s). De acordo com a metodologia de Pineau et al. (2009), foi claramente explicado que o gosto dominante é o gosto que é percebido com maior clareza, ou seja, aquele que capta a maior atenção em determinado momento.

A análise dos dados obtidos do TDS de acordo com o proposto por Pineau et al. (2009) foi realizada no software SensoMaker versão 1.9 para o cálculo das curvas de TDS, as quais foram suavizadas. Os níveis de chance e de significância foram computados, sendo o nível de chance definido como a taxa de dominância com que um atributo ocorreria por acaso. O nível de significância foi considerado como o valor mínimo de uma taxa de dominância que seria improvável de ocorrer por acaso, o qual foi calculado usando o intervalo de confiança de uma proporção binomial baseada em uma aproximação normal Pineau et al. (2009).

3.3 Composição química

Os glicosídeos Rebaudiosídeos D (RD), M (RM), C (RC) e o Rubusosídeo (R) foram quantificados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) em sistema Shimadzu, composto por bomba quaternária LC-20AT, desgaseificador DGU-20A5, injetor SIL-20A, controlador CBM-20A, forno CTO-20AC, detector SPDM-20A, detector RID-10A e coletor de frações FRC-10A. Utilizou-se coluna C18 (250 × 4,6 mm, 5 µm), com fase móvel composta por água e acetonitrila acidificada com ácido fosfórico (0,1%), em gradiente, a um fluxo de 1,0 mL/min.

As amostras foram extraídas em solvente aquoso, filtradas em membranas de 0,45 µm e injetadas (20 µL). As concentrações foram determinadas por curvas de calibração elaboradas com padrões comerciais de pureza $\geq 99,9\%$, correlacionando área cromatográfica e concentração. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

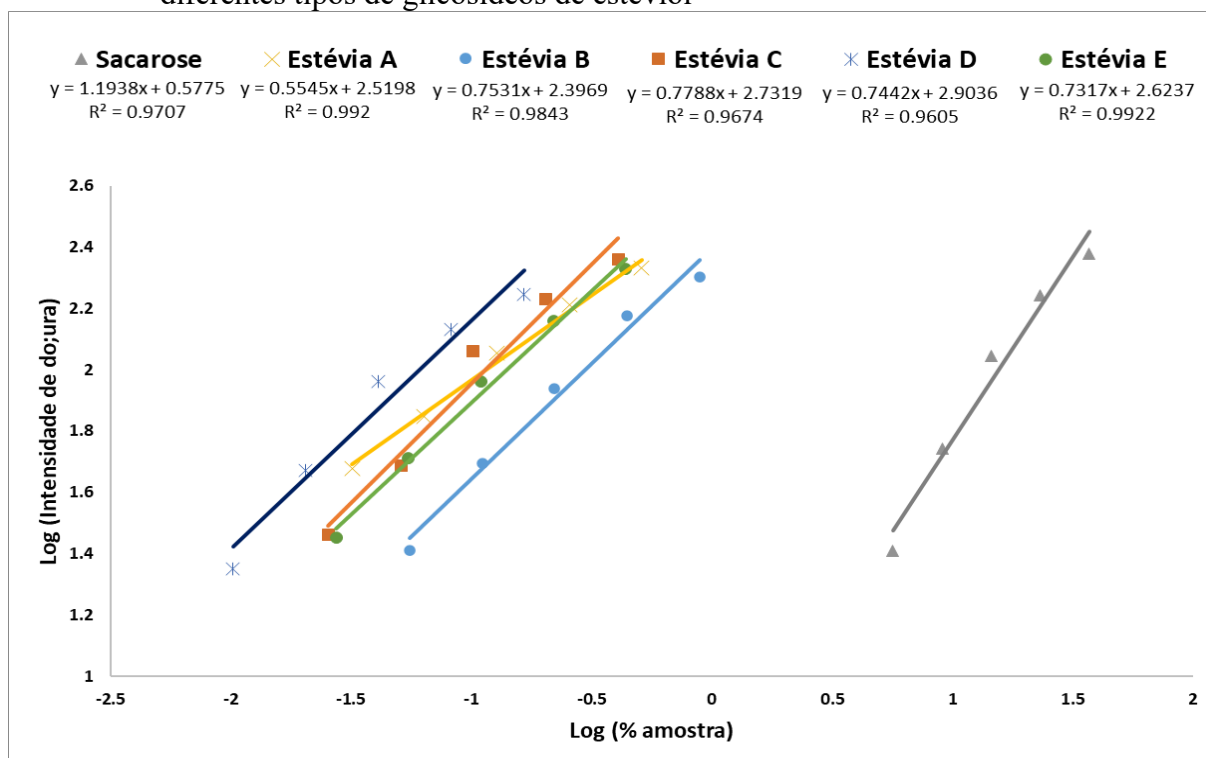
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Equivalência de doçura

Conforme dito na metodologia, nesta etapa a concentração de referência para a sacarose foi fixada em 10%, valor próximo ao usualmente comercializado (9,5%). Assim, a partir dos dados do teste de escala de magnitude, os valores das concentrações (C) (eixo X) em relação às magnitudes estimadas de doçura (estimadas por meio da sensação percebida) (eixo Y) para a sacarose e os glicosídeos de esteviol foram normalizados e plotados em uma escala logarítmica. Para efeito de comparação fez-se uma regressão linear dos pontos e uma equação linear obtida para cada um deles, as quais foram apresentadas na Figura 10.

A relação entre log da concentração e log da intensidade de doçura apresentou comportamento linear para a sacarose e para os quatro glicosídeos de esteviol (A–E), confirmando o ajuste a funções de potência (Lei de Stevens). Os coeficientes de determinação indicam boa qualidade de ajuste para os edulcorantes de alta intensidade (A: $R^2 = 0,992$; B: $R^2 = 0,9843$; C: $R^2 = 0,9674$; D: $R^2 = 0,9605$; E: $R^2 = 0,9922$) e ajuste adequado para a sacarose ($R^2 = 0,9707$).

Figura 10 - Função de potência linearizada para mousse de chocolate vegano com sacarose e diferentes tipos de glicosídeos de esteviol



Fonte: elaboração própria.

O distanciamento das curvas de sacarose e demais edulcorantes mostra que para conseguir a mesma sensação de doçura que a sacarose, quantidades menores de edulcorantes são requeridas. Isso se justifica pelo fato de os edulcorantes analisados apresentarem elevada potência em relação à sacarose, em razão de ser um edulcorante natural de alta intensidade (Philippaert et al., 2018; Tao; Cho, 2020).

Assim, com a intercepção das ordenadas (interceptação Y), as inclinações da função linear, os coeficientes de correlação linear, obtiveram-se as funções de potência (Power function) da sacarose e de cada substituto, que são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Antilog do intercepto y (a), intercepto na ordenada (n), coeficiente linear de determinação (R²) e função de potência (Power Function) dos resultados para determinação da doçura para sacarose e edulcorantes, em relação a 10 % de sacarose emn mousse de chocolate vegano

Amostra	a	n	Power function	R²
Sacarose	0,5775	1,1938	$S = 3,7801 \cdot 10^{1,1938}$	0,9707
Estévia A	2,5198	0,5545	$S = 332,6745 \cdot C^{0,545}$	0,992
Estévia B	2,3969	0,7531	$S = 250,3776 \cdot C^{0,7531}$	0,9843
Estévia C	2,7319	0,7780	$S = 539,3864 \cdot C^{0,7780}$	0,9674
Estévia D	2,9027	0,7433	$S = 800,9519 \cdot C^{0,7433}$	0,9605
Estévia E	2,6237	0,7317	$S = 422,5460 \cdot C^{0,7317}$	0,9922

Fonte: Elaboração própria.

Com base nas funções potenciais, estimou-se a concentração equivalente de cada glicosídeo de esteviol necessária para reproduzir a doçura do padrão (mousse com 10% de sacarose) em mousse de chocolate vegano conforme (Tabela 8). Nota-se pela Função de Potência dos diferentes edulcorantes naturais que, para promover a mesma sensação de doçura que 10% de sacarose em mousse de chocolate vegano, é necessário 0,0447; 0,1477; 0,0584; 0,0301 e 0,0684 g/100 g de edulcorantes Estévias A, B, C, D e E, respectivamente.

Todas as equivalências situam-se abaixo de 0,15% m/m, confirmando a altíssima potência desses glicosídeos de esteviol. A potência relativa variou de 67,71 vezes a 332,28 vezes, com a seguinte ordem: Estévia D (332,28x) > Estévia A (223,8x) > Estévia C (171,17x) > Estévia E (146,2x) > Estévia B (67,71x). A amplitude relativa entre a maior e a menor potência foi de 390,74%, sugerindo uma diferença alta entre os produtos avaliados.

Tabela 8 - Concentração e potência dos glicosídeos de esteviol equivalentes à concentração de 10% de sacarose em mousse de chocolate vegano

Amostra	Concentração equivalente (%)	Potência (vezes sacarose)
Estévia A	0,0447	223,8
Estévia B	0,1477	67,71
Estévia C	0,0584	171,17
Estévia D	0,0301	332,28
Estévia E	0,0684	146,2

Fonte: Elaboração própria.

Considerando as potências aqui observadas para os glicosídeos de esteviol (67,71–332,28×) o limite inferior ficou abaixo das relatadas para sobremesa láctea achocolatada (15,36% abaixo) (Morais et al., 2014) e leite achocolatado (24,77% abaixo) (Rodrigues et al., 2015), sendo somente de 80 e 90 vezes mais doce que a sacarose, respectivamente, e 49,47% abaixo dos 134 vezes em néctar de manga (Cadena, Bolini, 2012). Enquanto isso, as demais potências excederam tais referências, sendo que o limite superior excedeu substancialmente (315,35% acima de 80×; 269,20% acima de 90×; 147,97% acima de 134×) (Morais et al., 2014; Rodrigues et al., 2015; Cadena & Bolini, 2012).

As variações na potência de doçura entre os glicosídeos de esteviol decorrem tanto da composição do extrato quanto dos efeitos de matriz. Do ponto de vista composicional, a potência depende da pureza e do perfil de glicosídeos, pois estes compartilham a mesma aglicona e diferem pelo número, posição e tipo de açúcares ligados em C-13 e C-19, o que gera perfis de dulçor heterogêneos (O'Donnell; Kearsley, 2012). Isso se percebe em especial na relação rebaudiosídeos/esteviosídeos, onde rebaudiosídeos tendem a ampliar a percepção de doçura, enquanto esteviosídeos associam-se a maior amargor residual (Cadena & Bolini, 2012; Freitas; Dutra; Bolini, 2014).

De modo geral, rebaudiosídeo A (Reb A) apresenta potência usualmente superior à do esteviosídeo, enquanto rebaudiosídeos D e M (Reb D/M) exibem potências comparáveis ou superiores, com perfil de sabor mais limpo e menor amargor residual do que rebaudiosídeo A e esteviosídeo, ao passo que rubusosídeo (R), rebaudiosídeo C (Reb C), por apresentarem perfis de polaridade/hidrofobicidade, apresentam “menor doçura aparente” nas mesmas faixas de concentração (Hellfritsch et al., 2012). Além disso, rubusosídeo, rebaudiosídeo C e esteviosídeo

costumam exibir amargor mais evidente (Ahmad et al., 2020; Hellfritsch et al., 2012; Tian; Zhong; Xia, 2022).

Quanto à matriz alimentar, sua complexidade modula o dulçor por meio de interações do edulcorante com gorduras, proteínas, ácidos e carboidratos, alterando a intensidade percebida e, conseqüentemente, a potência efetiva do edulcorante (Reis et al., 2011). Além disso, condições de processo e formulação como temperatura, sinergismo entre edulcorantes e meio de dispersão (Souza et al., 2011).

4.2 Composição química

Procedeu-se à caracterização química das cinco amostras comerciais de estévia por HPLC, quantificando os principais glicosídeos de esteviol, e os resultados (em mg L⁻¹) encontram-se na Tabela 9. Observou-se heterogeneidade marcante entre as amostras quanto aos teores de rebaudiosídeo M, rebaudiosídeo D, rebaudiosídeo C e rubusosídeo.

Em particular, destacaram-se RM muito elevados em estévia D (936,56 mg L⁻¹), em contrapartida, a estévia A (1,7169 mg L⁻¹) apresentou teores mais baixos e ambas não obtiveram detecção de rubusosídeo. As estévias B e C, por sua vez, apresentaram teores equilibrados de RM, RD e RC, e, sem detecção de rubusosídeo para estévia C, enquanto a estévia B apresentou rubusosídeo detectável (5,9333 mg L⁻¹). Já as estévias A e E se destacaram pelo RC (17,05 mg L⁻¹; 29.5492 mg L⁻¹, respectivamente) e detectou-se rubusosídeo na estévia E (1.431 mg L⁻¹) (Tabela 9).

Tabela 9 - Perfil de glicosídeos de esteviol quantificados por HPLC (mg L⁻¹) nas amostras comerciais de estévia avaliadas em solução aquosa.

AMOSTRA	RD mg/L	RM mg/L	RC mg/L	R mg/L
Estévia A	9.6308	1.7169	3.0338	0
Estévia B	4.1064	22.8508	5.935	5.9333
Estévia C	9.1118	7.1401	17.05	0
Estévia D	7.8051	936,56	0.1476	0
Estévia E	10.5176	10.3378	29.5492	1.431

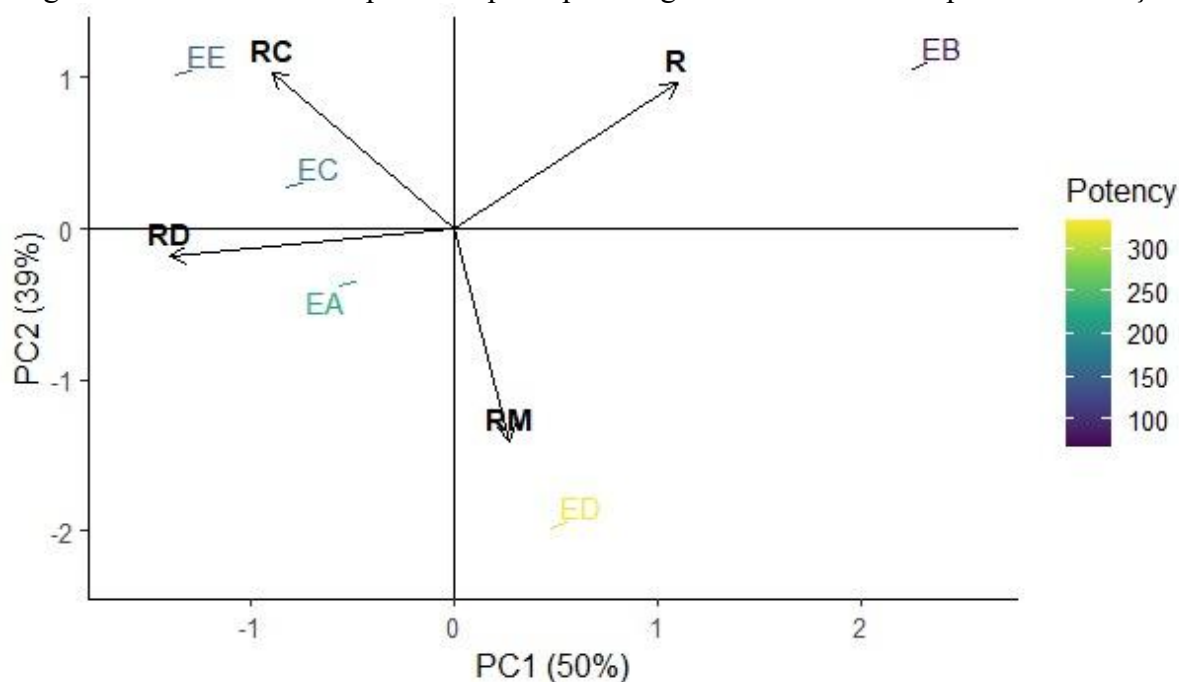
RM - Rebaudiosídeo M; **RD** - Rebaudiosídeo D; **RC** - Rebaudiosídeo C; **R** – Rubusosídeo

Fonte: Elaboração própria.

4.3 Correlação resposta sensorial e composição química

Aplicou-se a Análise de Componentes Principais (PCA) para investigar a associação entre as variáveis composicionais rebaudiosídeo M (RM), rebaudiosídeo D (RD), rebaudiosídeo C (RC) e rubusosídeo (R) e potência de doçura das amostras comerciais de estévia (PCA) (Figura 11). O primeiro componente (PC1) explicou 50,0% da variabilidade dos dados, enquanto o PC2 explicou 39,0%, totalizando aproximadamente 89% no plano. Os carregamentos indicam R projetado no semieixo positivo de PC1, RC/RD no negativo de PC1, e RM em direção a valores negativos de PC2. Consequentemente, PC1 distingue perfis com maior rubusosídeo (à direita) daqueles com maior RC/RD (à esquerda), enquanto PC2 separa amostras ricas em RM (abaixo) das ricas em RC (acima).

Figura 11 - Análise de componentes principais de glicídios de esteviol e potência de doçura



Fonte: Elaboração própria.

Através da PCA podemos perceber uma relação entre a composição química e a potência de dulçor das amostras de estévia. A Estévia D (ED), caracterizada por alto teor de rebaudiosídeo M (936,56 mg/L), localizou-se no quadrante inferior-direito (PC1>0; PC2<0), alinhada ao vetor RM e apresentou a maior potência de dulçor (332×). Esse resultado indica

correlação positiva de RM com a intensidade, corroborando estudos que demonstram que maiores graus de glicosilação, característicos de RM, tendem a favorecer a interação com T1R2/T1R3 e reduzem a ativação de receptores amargos, contribuindo para dulçor mais intenso e “limpo” (Hellfritsch et al., 2012; Philippaert et al., 2018; Zhang et al., 2021).

Em contrapartida, Estévia B (EB), posicionada no quadrante direito-superior ($PC1 > 0$; $PC2 > 0$) e que na sua composição apresentou maior proporção de rubusosídeo (R) (5,93 mg/L), além de RM moderando (22,85 mg/L) e RC (5,9), alinha-se ao vetor R, exibindo a menor potência ($67\times$). Esses compostos, de menor complexidade estrutural, como o rubusosídeo, tendem a gerar dulçor fraco e residual amargo em função da coativação de receptores T2R (Hellfritsch et al., 2012), o que justifica sua correlação negativa com a potência.

As amostras intermediárias, Estévia A (EA), Estévia C (EC) e Estévia E (EE), as quais apresentaram composições balanceadas de RD, RC e menor teor de RM, concentram-se no semiplano esquerdo, projetadas para RC/RD, refletindo potências moderadas ($146\text{--}223\times$) e indicando que perfis dominados por RC/RD não atingiram o patamar de potência observado quando RM predomina. Essa distribuição reforça que o perfil de dulçor da estévia não depende apenas da concentração total de glicosídeos, mas da proporção entre os tipos presentes, sendo Reb M e D os principais contribuintes para o dulçor limpo e intenso, enquanto Reb C e rubusosídeo estão associados a dulçor fraco e maior residual amargo (Ahmad et al., 2020; Hellfritsch et al., 2012; Tian; Zhong; Xia, 2022).

Esses achados são consistentes com a hipótese central da tese, de que a estrutura molecular dos glicosídeos de esteviol influencia diretamente o comportamento sensorial. A aplicação da PCA permitiu visualizar essa relação de forma multivariada, evidenciando que a composição química explica a maior parte da variação observada na potência de dulçor entre os diferentes produtos comerciais testados.

4.4 TDS

A aplicação da técnica de Dominância Temporal das Sensações (TDS) permite aprofundar essa compreensão, revelando a sequência, a duração e a interação das sensações dominantes ao longo do tempo de degustação, e possibilitando correlacionar a composição química com os parâmetros temporais de dominância ($T1D/Tfirst$, $TP/Tmax$, $Tlast$ e AUC). Essa abordagem integrada viabiliza uma interpretação mais abrangente do comportamento

sensorial dos edulcorantes de estévia, conectando a química de glicosídeos à percepção temporal de dulçor na matriz de mousse de chocolate vegano.

A Tabela 10 resume os parâmetros extraídos do SensoMaker (Tmax/TP, T1D/Tfirst, Tlast, AUC) para os atributos de interesse nas amostras analisadas.

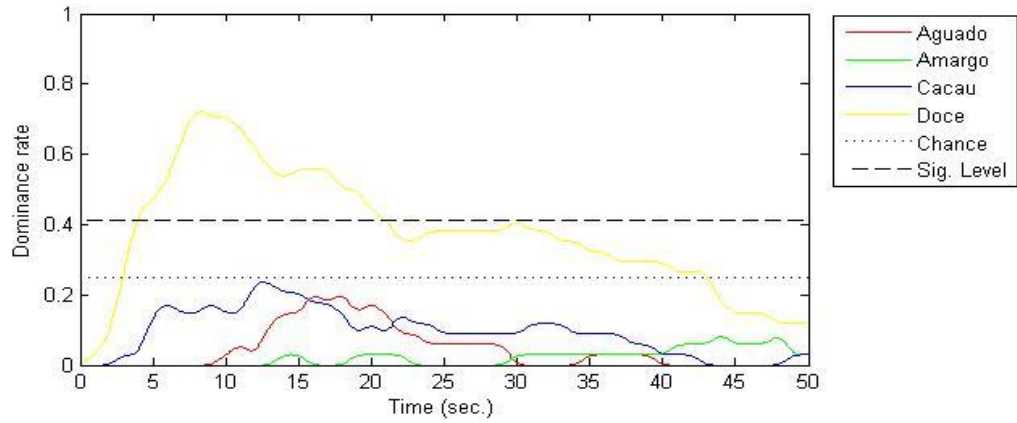
Tabela 10 - Parâmetros de dominância temporal (TDS) obtidos para mousses de chocolate vegano adoçados com sacarose e diferentes edulcorantes de estévia

Amostra	T1D(s) Doce	Tmax(s)) Doce	Tlast (s) Doce	T1D(s) Amargo	Tmax(s) Amargo	Tlast(s) Amargo	AUC Doce	AUC Amargo
Sacarose (10%)	3.9	8.3	20.95	0	0	0	18.93	1.07
Estévia A (0,0447%)	0	16.5	0	0	0	0	8.92	11.58
Estévia B (0,1477%)	7.05	8.5	10.65	31.45	31.5	33.55	10.10	12.02
Estévia C (0,0584%)	7.45	8.2	9.05	0	0	0	12.21	9.72
Estévia D (0,0301%)	5.9	6.3	7.05	0	0	0	8.98	9.73
Estévia E (0,0684%)	3.3	5.5	10.55	19.45	19.5	20.55	11.67	10.82

Fonte: Elaboração própria.

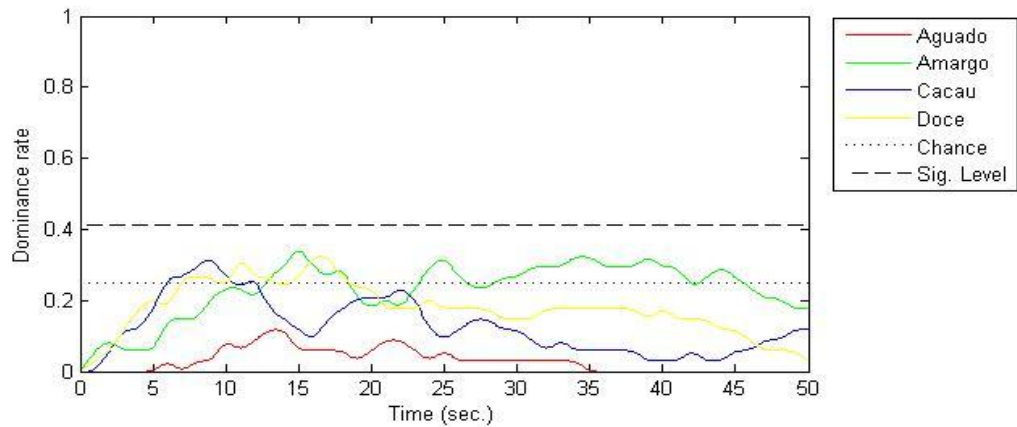
As Figuras 12 a 17 mostram os perfis de TDS para os mousses de chocolate vegano avaliados no estudo. Cada curva representa a variação da taxa de dominância dos atributos sensoriais “doce”, “amargo”, “cacau” e “aguado” ao longo do tempo de degustação (0–50 s). A linha pontilhada superior indica o nível de significância estatística ($p < 0,05$). Valores acima dessa linha representam sensações dominantes percebidas de forma consistente pelos provadores. A linha pontilhada inferior corresponde ao de acaso, abaixo do qual as respostas são aleatórias (Pineau et al., 2009).

Figura 12 - Curvas de TDS para o Mousse de chocolate vegano adoçado com sacarose a 10%



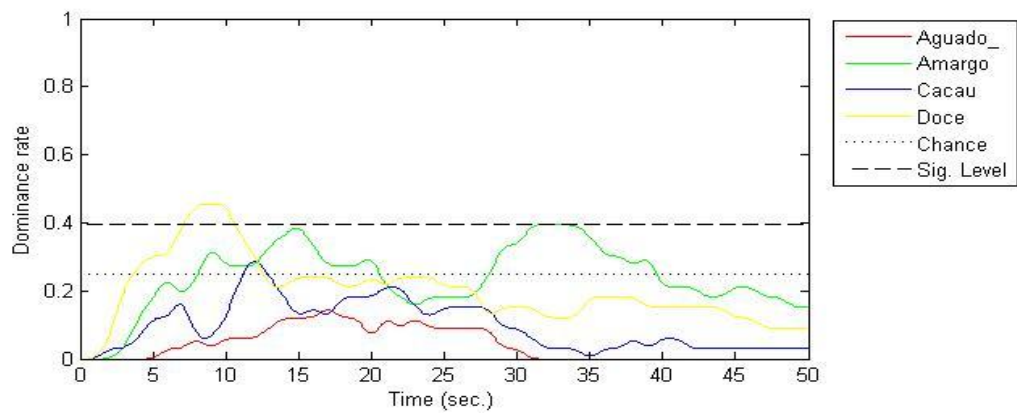
Fonte: Elaboração própria.

Figura 13 - Curvas de TDS para o Mousse de chocolate vegano adoçado com Estévia A a 0,0447%



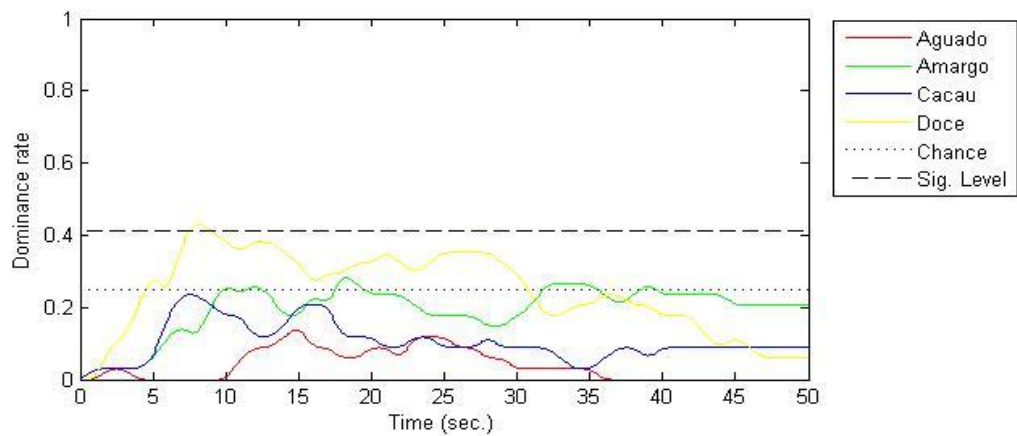
Fonte: Elaboração própria.

Figura 14 - Curvas de TDS para o Mousse de chocolate vegano adoçado com Estévia B a 0.1477%



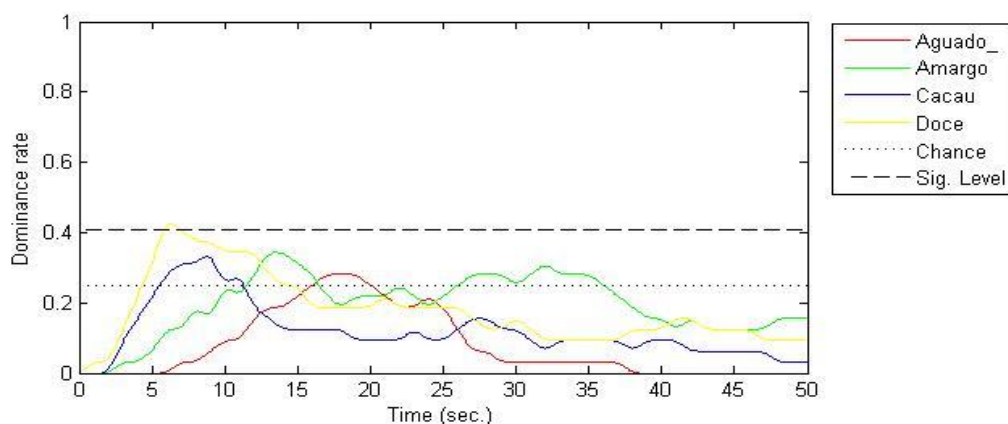
Fonte: Elaboração própria.

Figura 15 - Curvas de TDS para o Mousse de chocolate vegano adoçado com Estévia C a 0,0584%



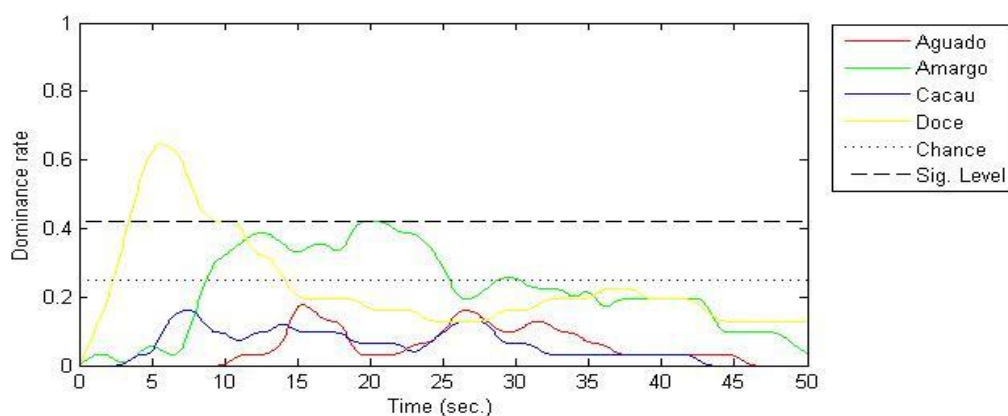
Fonte: Elaboração própria.

Figura 16 - Curvas de TDS para o Mousse de chocolate vegano adoçado com Estévia D a 0,0301%



Fonte: Elaboração própria.

Figura 17 - Curvas de TDS para o Mousse de chocolate vegano adoçado com Estévia E a 0.0684%



Fonte: Elaboração própria.

De acordo com as curvas de TDS de cada amostra de mousse de chocolate vegano adoçada com sacarose e com os diferentes edulcorantes, observou-se que o mousse adoçado com sacarose (Figura 12) apresentou perfil temporal clássico de dulçor limpo, com predominância inicial e significativa do atributo “doce”, alcançando $V_{max} = 0,72$ e $T_{max} = 8,3$ s, seguido de decréscimo gradual até cerca de 20 s ($AUC = 18,93$). Esses resultados confirmam que a sacarose promove onset rápido ($T_{1D} = 3,95$ s), pico intenso e offset limpo, características de referência para comparação com os edulcorantes de estévia (O'Donnell; Kearsley, 2012).

A ausência de dominância significativa observada para a amostra Estévia A (Figura 13), bem como as variações temporais entre as demais amostras, indica que o comportamento

sensorial temporal dos edulcorantes de estévia foi influenciado não apenas pela composição química dos glicosídeos, mas também pela matriz alimentar na qual foram avaliados. De acordo com Amorim et al. (2024), estudos aplicados a matrizes complexas como queijos maturados mostram que o método TDS pode apresentar baixas taxas de dominância e maior dispersão das respostas quando há competição simultânea de múltiplos estímulos sensoriais (como gostos, aromas e textura). Nesses casos, a variabilidade entre provadores e a multiplicidade de sensações reduzem a probabilidade de que um único atributo se mantenha dominante por tempo suficiente para ultrapassar a linha de significância.

Esse fenômeno parece ter ocorrido com a Estévia A, cuja curva TDS não apresentou dominância significativa para nenhum dos quatro atributos avaliados (doce, amargo, cacau e aguado), com valores para o atributo doçura $V_{max} = 0,32$, $T_{max} = 16,5$ s e $AUC = 8,92$, apesar de a amostra ter exibido o segundo maior poder de dulçor relativo ($223\times$ sacarose) no teste de equivalência de doçura. Esse comportamento sugere que o equilíbrio composicional entre rebaudiosídeos D, M e C, ainda que teoricamente favorável, resultou em um efeito sensorial mascarado ou instável na matriz de mousse, provavelmente pela interação com os compostos do cacau e pela complexidade da base lipídica da formulação.

Segundo Silas Souza et al. (2024), em mousses de chocolate vegano, a percepção de dulçor e amargor é fortemente modulada pela matriz, onde o teor de compostos fenólicos e metilxantinas do cacau (como teobromina) e a presença de lipídios vegetais tendem a ampliar a percepção de amargor e reduzir a percepção aparente do dulçor. A viscosidade e a capacidade de recobrimento da gordura também diminuem a difusão dos compostos doces até os receptores gustativos, retardando o onset e reduzindo o offset do dulçor. Assim, a falta de dominância na Estévia A reflete, em parte, o efeito mascarante da matriz e a baixa percepção diferencial entre os atributos, dificultando a consolidação estatística de um atributo dominante.

Por outro lado, a Estévia B (Figura 14), que apresentou dominância inicial de dulçor ($T1D = 7,05$ s, $V_{max} = 0,45$; $AUC = 10,1$) e um offnote de amargor ($T1D = 31,45$, $V_{max} = 0,39$; $AUC = 12,01$), ilustra o impacto do perfil composicional menos favorável. A amostra continha teores de Rebaudiosídeo C e o maior teor de Rubusosídeo (comparado às outras amostras), ambos associados a menor potência de dulçor e maior propensão a off-notes amargos e metálicos (Hellfritsch et al., 2012; Philippaert et al., 2018). Apesar de conter Rebaudiosídeos D e M em proporções moderadas, a dominância final de amargor indica predomínio perceptual dos compostos de menor glicosilação, cuja interação com compostos amargos do cacau

potencializa o residual negativo. Esse padrão explica também o baixo poder de dulçor relativo ($67\times$) observado no teste de equivalência, indicando sinergia limitada entre dulçor e cacau.

A Estévia C (Figura 15), com proporções relativamente balanceadas de Rebaudiosídeos D, M e C, apresentou dominância significativa de dulçor apenas no início, onset moderado ($T1D = 7,45$ s) e pico precoce ($T_{max} = 8,2$ s), com $AUC = 12,21$, seguida por ausência de dominância de qualquer outro atributo. Essa curta janela de percepção dominante pode estar associada ao rápido mascaramento do dulçor pelos compostos amargos e fenólicos da matriz, que anulam diferenças sutis entre amostras intermediárias. O comportamento intermediário da curva é coerente com seu poder de dulçor mediano ($171\times$), refletindo uma relação sensorial de compensação entre a composição química e o ambiente gustativo da mousse. Além disso, esse comportamento está de acordo com a composição balanceada de rebaudiosídeos D, M e C, o que promove modulação parcial do amargor e melhor sincronia temporal entre atributos (Karl et al., 2020; Philippaert et al., 2018).

Já o resultado observado da Estévia D (Figura 16), cuja composição é fortemente dominada por Rebaudiosídeo M ($936,6$ mg/L), apresentou dominância significativa de dulçor logo no início da avaliação ($T1D = 5,85$ s), seguida por rápido decaimento ($T_{last} = 7.05$ s) sem dominância subsequente de amargor. A correlação entre alto teor de RM e onset precoce, com o residual limpo, confirma a relação entre estrutura e atividade descrita por Philippaert et al. (2018) e Zhang et al. (2021), segundo os quais o maior grau de glicosilação de RM aumenta a afinidade pelo receptor $T1R2/T1R3$ e reduz a ativação cruzada de receptores $T2R$ responsáveis por notas amargas. O fato de a Estévia D apresentar a maior potência de dulçor ($332\times$) reforça o vínculo entre composição química e dinâmica temporal do dulçor, onde o perfil de onset precoce é compatível com a maior potência associada ao rebaudiosídeo M (O'Donnell; Kearsley, 2012; Philippaert et al., 2018; Zhang et al., 2021).

A Estévia E (Figura 17), com composição dominada por Rebaudiosídeo C e a presença de rubusosídeo, apresentou dominância inicial de dulçor ($T1D = 3,35$ s, $V_{max} = 0,65$; $AUC = 11,67$) seguida de amargor tardio ($T1D = 19,45$ s, $V_{max} = 0,42$; $AUC = 10,81$), evidenciando uma transição temporal de atributos, do dulçor inicial ao amargor residual (off notes). Esse de atenuação do amargor, possivelmente, se deve à maior proporção relativa de rebaudiosídeo C e à presença de rubusosídeo.

No conjunto, esses resultados demonstram que, embora a sacarose mantenha o perfil TDS esperado (dulçor dominante e prolongado), as amostras de estévia apresentam curvas mais

curtas, dominâncias instáveis e trocas rápidas entre atributos, reflexo da menor difusibilidade, da complexidade da matriz e das interações químico-sensoriais entre compostos amargos e glicosídeos de esteviol. A influência da matriz, levantada por Silas Souza et al. (2024), reforça que o comportamento sensorial de edulcorantes naturais deve ser interpretado no contexto da aplicação final, já que textura, teor de gordura e compostos fenólicos podem alterar a cinética de percepção, potencializando a percepção de amargor dos glicosídeos menos glicosilados (RC e R), interferindo a dominância sensorial dos compostos “limpos” (RM e RD) mesmo em amostras com alto poder adoçante. Essa interação entre o edulcorante e os compostos da matriz reforça a importância do controle da composição química do blend de glicosídeos para controlar o residual e o equilíbrio sensorial.

5 CONCLUSÃO

Os resultados evidenciaram que estévias que apresentaram maior proporção de rebaudiosídeos M e D apresentaram maior potência de doçura e menor incidência de atributos residuais. Em contrapartida, formulações com teores elevados de rebaudiosídeo C e rubusosídeo apresentaram potência de doçura reduzida e menor estabilidade da dominância de dulçor, apresentando atributos residuais de amargor, comportamento evidenciado, particularmente, nas amostras de estévia B e E.

Esses achados reforçam que a eficácia tecnológica da estévia não se constitui em uma característica intrínseca da matéria-prima, mas resulta da composição e da proporção dos glicosídeos que compõem as estévias comercializadas, bem como de sua interação com a matriz alimentar. Dessa forma, a adequação sensorial e tecnológica de edulcorantes à base de estévia deve considerar não apenas a pureza ou o teor de glicosídeos isolados, mas o equilíbrio composicional e o comportamento sinérgico entre seus constituintes.

Além disso, os resultados obtidos oferecem subsídios operacionais para a especificação e o uso racional de edulcorantes à base de estévia de acordo com a composição de glicosídeos em formulações de sobremesas à base de plantas, contribuindo para o desenvolvimento de produtos com redução de açúcares e preservação da qualidade sensorial. Assim, a utilização de estévia em mousse de chocolate vegano é tecnicamente viável e pode atender às demandas por alimentos mais saudáveis e de menor teor calórico, desde que amparada por evidências sensoriais e tecnológicas robustas e por estratégias de formulação que considerem a complexidade da matriz e o alvo hedônico do consumidor.

Conclui-se que este trabalho reforça a importância da abordagem integrada entre química e sensorialidade na reformulação de alimentos com redução de açúcares, evidenciando que o sucesso da substituição depende de um equilíbrio preciso entre a composição dos glicosídeos de esteviol, a matriz alimentar e o objetivo de aceitação do produto.

REFERÊNCIAS

ABO ELNAGA, N. I. E. *et al.* Effect of stevia sweetener consumption as non-caloric sweetening on body weight gain and biochemical's parameters in overweight female rats. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 61, n. 1, p. 155–163, 1 jun. 2016.

ABUDULA, Reziwanggu *et al.* Rebaudioside A potently stimulates insulin secretion from isolated mouse islets: Studies on the dose-, glucose-, and calcium-dependency. **Metabolism**, v. 53, n. 10, p. 1378–1381, 1 out. 2004.

AHMAD, Jamil *et al.* Stevia rebaudiana Bertoni.: an updated review of its health benefits, industrial applications and safety. **Trends in Food Science and Technology**, v. 100, p. 177–189, 1 jun. 2020.

ALBERT, A. *et al.* Comparison between temporal dominance of sensations (TDS) and key-attribute sensory profiling for evaluating solid food with contrasting textural layers: Fish sticks. **Food Quality and Preference**, v. 24, n. 1, p. 111–118, 1 abr. 2012.

AMERINE, M.A, PANGBORN R.M., ROESSLER E.B. (1965). **Principles of sensory evaluation of food**. New York: Academic Press

AMORIM, Katiucia Alves, *et al.* Temporal dominance of Sensations: Do different concepts of “dominance” affect the results? **Food Research International**, v.194, p. 114902, oct. 2024.

ANTON, Stephen D. *et al.* Effects of stevia, aspartame, and sucrose on food intake, satiety, and postprandial glucose and insulin levels. **Appetite**, v. 55, n. 1, p. 37–43, 1 ago. 2010.

AZEVEDO, Bruna Marcacini *et al.* Bittersweet chocolates containing prebiotic and sweetened with stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) with different Rebaudioside A contents: multiple time–intensity analysis and physicochemical characteristics. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 8, p. 1731–1738, 17 jul. 2017.

ASTM International. (2020). **Standard test method for unipolar magnitude estimation of sensory attributes (ASTM E1697-05)**. West Conshohocken, PA: Author.

BATTACCHI, Dario *et al.* The state of the art of food ingredients' naturalness evaluation: A review of proposed approaches and their relation with consumer trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 106, p. 434–444, 1 dez. 2020.

BLUMENTHAL, David *et al.* Sensory reverse engineering: A framework for sustainable product development used on vegan chocolate mousse. **Food Quality and Preference**, v. 133, p. 105614, 1 dez. 2025.

BOLINI, Helena Maria André *et al.* Preference Drivers for Blackberry Nectar (*Rubus* spp., Rosaceae) with Different Sweeteners. **Foods** **2023**, Vol. 12, Page 549, v. 12, n. 3, p. 549, 26 jan. 2023.

BRANDLE, J. E.; TELMER, P. G. Steviol glycoside biosynthesis. **Phytochemistry**, v. 68, n. 14, p. 1855-1863, oct. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa no 211, de 1o de março de 2023. Estabelece as listas de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em diversas categorias de alimentos.**, 1 mar. 2023a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 778, de 01/03/2023. Dispõe sobre os princípios gerais, as funções tecnológicas e as condições de uso de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia em alimentos.** 1 mar. 2023 b.

BUTLER, G. *et al.* Alternative analyses of magnitude estimation data. **Journal of Sensory Studies**, v. 2, n. 4, p. 243–257, 1 Jan. 1987.

CADENA, R. S. *et al.* Dynamic Sensory Descriptive Methodologies: Time–Intensity and Temporal Dominance of Sensations. *In*: VARELA, P.; ARES, G. (Orgs.). **Novel Techniques in Sensory Characterization and Consumer Profiling**. [S.l.]: CRC Press, 2014. p. 333–364.

CARDOSO, J.M.P.; CARDELLO, H.M.A.B. 2003. Potência edulcorante, doçura equivalente e aceitação de diferentes edulcorantes em bebida preparada com erva-mate (*paraguariensis* ST. HIL.) em pó solúvel, quando servida quente. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 14, n. 2, 2009.

CAROCHO, Márcio; MORALES, Patricia; FERREIRA, Isabel C. F. R. Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come. **Food and Chemical Toxicology**, v. 107, p. 302–317, 1 set. 2017.

CHANDAN, Ramesh C.; KILARA, Arun. Puddings and Dairy-Based Desserts. **Dairy Processing and Quality Assurance**, p. 397–427, 30 dez. 2015.

CHOI, Ji Hye; CHUNG, Seo Jin. Sweetness potency and sweetness synergism of sweeteners in milk and coffee systems. **Food Research International**, v. 74, p. 168–176, 1 ago. 2015.

CHRANIOTI, Charikleia; CHANIOTI, Sofia; TZIA, Constantina. Comparison of spray, freeze and oven drying as a means of reducing bitter aftertaste of steviol glycosides (derived from *Stevia rebaudiana* Bertoni plant) – Evaluation of the final products. **Food Chemistry**, v. 190, p. 1151–1158, 1 jan. 2016.

COLLABORATORS, The GBD 2015 Obesity. Health Effects of Overweight and Obesity in 195 Countries over 25 Years. **New England Journal of Medicine**, v. 377, n. 1, p. 13–27, 6 jul. 2017.

CROWN, E. *et al.* Consumer perception of sweeteners in yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 107, n. 12, p. 10552–10570, 1 dez. 2024.

CRUZ, Adriano G. *et al.* Sensory Analysis: Relevance for Prebiotic, Probiotic, and Synbiotic Product Development. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 9, n. 4, p. 358–373, 1 jul. 2010.

CZAJA, Tomasz Pawel *et al.* Mimicking the properties of commercial chocolate mousses using plant proteins as foaming stabilisers. Texture, rheology, color and proton mobility. **Food Research International**, v. 212, p. 116450, 1 jul. 2025.

DUBOIS, Grant E. Molecular mechanism of sweetness sensation. **Physiology & Behavior**, v. 164, p. 453–463, 1 out. 2016.

DUBOVSKI, Nitzan *et al.* Sensitivity of human sweet taste receptor subunits T1R2 and T1R3 to activation by glucose enantiomers. **Chemical senses**, v. 48, 2023.

FAO/WHO. **General standard for food additives: CODEX STAN 192-1995. CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION**. Adopted in 1995. Revised in 2024. 2024.

FREITAS, Mírian Luisa Faria; DUTRA, Mariana Borges de Lima; BOLINI, Helena Maria André. Development of pitanga nectar with different sweeteners by sensory analysis: ideal pulp dilution, ideal sweetness, and sweetness equivalence. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 1, p. 174–180, 2014.

FRY, J. C. Stevia - A non-caloric sweetener of natural origin as replacement for added sugar in fruit juice beverages. **Acta Horticulturae**, v. 1017, p. 455–460, 13 jan. 2014.

GASMALLA, Mohammed Abdalbasit A. *et al.* Nutritional Composition of Stevia rebaudiana Bertoni Leaf: Effect of Drying Method. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v. 13, n. 1, p. 61–65, 13 fev. 2014.

GHANTA, Srijani *et al.* Oxidative DNA Damage Preventive Activity and Antioxidant Potential of Stevia rebaudiana (Bertoni) Bertoni, a Natural Sweetener. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 26, p. 10962–10967, 26 dez. 2007.

GOYAL, S. K.; SAMSHER; GOYAL, R. K. Stevia (Stevia rebaudiana) a bio-sweetener: a review. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 61, n. 1, p. 1–10, 6 fev. 2010.

GULARTE, Marcia Arocha. **Manual de análise sensorial de alimentos**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária PREC, 2002.

HAO, Shuang *et al.* Steviol rebaudiosides bind to four different sites of the human sweet taste receptor (T1R2/T1R3) complex explaining confusing experiments. **Communications Chemistry**, v. 7, n. 1, p. 1–17, 1 dez. 2024.

HELLFRITSCH, Caroline *et al.* Human Psychometric and Taste Receptor Responses to Steviol Glycosides. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 27, p. 6782–6793, 11 jul. 2012.

ISO 13299. ISO 13299. **Sensory analysis—Methodology—General guidance for establishing a sensory profile**. 2016.

ISO/TS 19657. **Definitions and technical criteria for food ingredients to be considered as natural**. 2017.

JAYARAMAN, Sathishkumar; MANOHARAN, Saravanan; ILLANCHEZIAN, Seethalakshmi. In-vitro Antimicrobial and Antitumor Activities of Stevia Rebaudiana (Asteraceae) Leaf Extracts. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v. 7, n. 4, p. 1143–1149, 11 dez. 2008.

KARIMIDASTJERD, Atefeh *et al.* Evaluation of rheological, textural, and sensory characteristics of optimized vegan rice puddings prepared by various plant-based milks. **Food science & nutrition**, v. 12, n. 3, p. 1779–1791, 1 mar. 2023.

KARL, Corinna M. *et al.* Structure-dependent effects of sweet and sweet taste affecting compounds on their sensorial properties. **Food Chemistry**: X, v. 7, p. 100100, 30 set. 2020.

KEMP, S.; LINDLEY, M. Developments in sweeteners. **Modifying Flavour in Food**, p. 185–201, 1 jan. 2007.

KHEMACHEEVAKUL, Khemiga *et al.* Temporal sensory perceptions of sugar-reduced 3D printed chocolates. **Foods**, v. 10, n. 9, p. 2082, 1 set. 2021.

KIM, S. H.; DUBOIS, G. E. Natural high potency sweeteners. **Handbook of Sweeteners**, p. 116–185, 1991.

KOVYLYAEVA, G. I. *et al.* Glycosides from Stevia rebaudiana. **Chemistry of Natural Compounds**, v. 43, n. 1, p. 81–85, 2007.

KOYAMA, E. *et al.* In vitro metabolism of the glycosidic sweeteners, stevia mixture and enzymatically modified stevia in human intestinal microflora. **Food and Chemical Toxicology**, v. 41, n. 3, p. 359–374, 1 mar. 2003.

LABBE, D. *et al.* Temporal dominance of sensations and sensory profiling: A comparative study. **Food Quality and Preference**, v. 20, n. 3, p. 216–221, 2009.

LANE, H. L.; CATANIA, A. C.; STEVENS, S. S. Voice Level: Autophonic Scale, Perceived Loudness, and Effects of Sidetone. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 33, n. 2, p. 160–167, 1 fev. 1961.

LAWLESS, HARRY T. Logarithmic transformation of magnitude estimation data and comparisons of scaling methods. **Journal of Sensory Studies**, v. 4, n. 2, p. 75–86, 1 set. 1989.

LAWLESS, Harry T.; HEYMANN, Hildegard. **Sensory Evaluation of Food**. New York, NY: Springer New York, 2010.

LE RÉVÉREND, Fanny M. *et al.* Comparison between temporal dominance of sensations and time intensity results. **Food Quality and Preference**, v. 19, n. 2, p. 174–178, 1 mar. 2008.

LEMUS-MONDACA, Roberto *et al.* Stevia rebaudiana Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. **Food Chemistry**, v. 132, n. 3, p. 1121–1132, 1 jun. 2012.

LIBIK-KONIECZNY, Marta *et al.* Synthesis and production of steviol glycosides: recent research trends and perspectives. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 105, n. 10, p. 3883–3900, 1 maio 2021.

LINDLEY, Michael G. Natural High-Potency Sweeteners. **Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology**, p. 185–212, 16 jul. 2012.

MACFIE, HALLIDAY J. *et al.* Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, v. 4, n. 2, p. 129–148, 1 set. 1989.

MAHATO, Dipendra Kumar *et al.* Optimisation of natural sweeteners for sugar reduction in chocolate flavoured milk and their impact on sensory attributes. **International Dairy Journal**, v. 115, p. 104922, 1 abr. 2021.

MAYANK; JAIRAK, Vikas. Interaction model of steviol glycosides from Stevia rebaudiana (Bertoni) with sweet taste receptors: A computational approach. **Phytochemistry**, v. 116, n. 1, p. 12–20, 1 ago. 2015.

MEILGAARD, Morten C.; CARR, B. Thomas; CIVILLE, Gail Vance. **Sensory Evaluation Techniques**. 24 jun. 2006.

MINIM, Valéria Paula Rodrigues. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. 2 ed. ed. [S.l.]: UFV, 2010.

MOSKOWITZ, Howard R. Ratio scales of sugar sweetness. **Perception & Psychophysics**, v. 7, n. 5, p. 315–320, set. 1970.

NUNES, Cleiton Antônio; PINHEIRO, Ana Carla Marques. **SensoMaker, version 1.9**. UFLA, Lavras, 2013.

O'BRIEN-NABORS, Lyn (Ed.). **Alternative sweeteners**. Boca Raton: CRC, 2012. 567 p.

O'DONNELL, Kay; KEARSLEY, Malcolm W. Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology, Second Edition. **Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology**, Second Edition, p. 1–484, 1 jan. 2012.

OEHME, A.; SCHWAB, W.; WÜST, M. Biosynthesis of Steviol Glycosides and Related Diterpenes in Leaves and Glandular Trichomes of Stevia rebaudiana Bertoni. In: WÖLWER-RIECK, Ursula (Org.). **Steviol Glycosides: Cultivation, Processing, Analysis and Applications in Food**. [S.l.]: Royal Society of Chemistry, 2019. v. 2019-January p. 32–58.

- OLIVEIRA, Ana Alice Andrade *et al.* Use of strawberry and vanilla natural flavors for sugar reduction: A dynamic sensory study with yogurt. **Food Research International**, v. 139, p. 109972, 1 jan. 2021.
- ORELLANA-PAUCAR, Adriana Monserrath. Steviol Glycosides from *Stevia rebaudiana*: An Updated Overview of Their Sweetening Activity, Pharmacological Properties, and Safety Aspects. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 28, n. 3, 1 fev. 2023.
- ORVALHO, Ricardo Jorge Silvério. **Redução do teor de sódio em fiambre. Implicações tecnológicas, organolépticas e de prazo de validade.** Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. Faculdade de Medicina Veterinária, 2010.
- PARKER, M. N.; LOPETCHARAT, K.; DRAKE, M. A. Consumer acceptance of natural sweeteners in protein beverages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 10, p. 8875–8889, 1 out. 2018.
- PERERA, Wilmer H.; MCCHESENEY, James D. Approaches toward the Separation, Modification, Identification and Scale up Purification of Tetracyclic Diterpene Glycosides from *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni. **Molecules** **2021**, Vol. 26, Page 1915, v. 26, n. 7, p. 1915, 29 mar. 2021.
- PERICHE, Angela *et al.* Influence of drying method on steviol glycosides and antioxidants in *Stevia rebaudiana* leaves. **Food Chemistry**, v. 172, p. 1–6, 1 abr. 2015.
- PERRIER, Judith D.; MIHALOV, Jeremy J.; CARLSON, Susan J. FDA regulatory approach to steviol glycosides. **Food and Chemical Toxicology**, v. 122, p. 132–142, 1 dez. 2018.
- PETELIUK, Victoria *et al.* Natural sweetener *Stevia rebaudiana*: Functionalities, health benefits and potential risks. **EXCLI Journal**, v. 20, p. 1412, 4 jan. 2021.
- PEZZOTTI, Giuseppe *et al.* Raman Spectroscopic Analysis of Steviol Glycosides: Spectral Database and Quality Control Algorithms. **Foods** **2024**, Vol. 13, Page 3068, v. 13, n. 19, p. 3068, 26 set. 2024.
- PHILIPPAERT, Koenraad *et al.* Steviol glycosides enhance pancreatic beta-cell function and taste sensation by potentiation of TRPM5 channel activity. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 1–16, 31 mar. 2017.
- PHILIPPAERT, Koenraad *et al.* Sensory Effects of Steviol Glycosides: Taste Perception and Beyond. **Food Chemistry, Function and Analysis**, v. 2019-January, n. 7, p. 185–203, 25 out. 2018.
- PIELAK, Marlena; CZARNIECKA-SKUBINA, Ewa; GŁUCHOWSKI, Artur. Effect of Sugar Substitution with Steviol Glycosides on Sensory Quality and Physicochemical Composition of Low-Sugar Apple Preserves. **Foods** **2020**, Vol. 9, Page 293, v. 9, n. 3, p. 293, 5 mar. 2020.

PINEAU, N. *et al.* Temporal Dominance of Sensations: Construction of the TDS curves and comparison with time–intensity. **Food Quality and Preference**, v. 20, n. 6, p. 450–455, 1 set. 2009.

PINHEIRO, Ana Carla Marques; NUNES, Cleiton Antônio; VIETORIS, Vladmir. SensoMaker: a tool for sensorial characterization of food products. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 3, p. 199–201, maio 2013.

PRAKASH, Indra; MARKOSYAN, Avetik; BUNDERS, Cynthia. Development of Next Generation Stevia Sweetener: Rebaudioside M. **Foods** **2014**, Vol. 3, Pages 162–175, v. 3, n. 1, p. 162–175, 27 fev. 2014.

REIS, Ronielli C. *et al.* SWEETNESS EQUIVALENCE OF DIFFERENT SWEETENERS IN STRAWBERRY-FLAVORED YOGURT. **Journal of Food Quality**, v. 34, n. 3, p. 163–170, 1 jun. 2011.

RIOS-LEYVRAZ, M.; MONTEZ, J. **Health Effects of the Use of Non-Sugar Sweeteners: A Systematic Review and Meta-Analysis**. Geneva: World Health Organization, 2022.

RODRIGUES, Jéssica Ferreira *et al.* Temporal dominance of sensations of chocolate bars with different cocoa contents: Multivariate approaches to assess TDS profiles. **Food Quality and Preference**, v. 47, p. 91–96, 1 jan. 2016.

SAVITA, S. M. *et al.* Stevia rebaudiana – A Functional Component for Food Industry. **Journal of Human Ecology**, v. 15, n. 4, p. 261–264, abr. 2004.

SHARMA, Manishika; THAKRAL, Naveen Kr; THAKRAL, Seema. Chemistry and in vivo profile of ent-kaurene glycosides of Stevia rebaudiana Bertoni-an overview. **Natural Product Radiance**, v. 8, n. 2, p. 181–189, 1 mar. 2009.

SILAS SOUZA, Alexandre Henrique *et al.* The impact of plant-based product denomination on consumer expectations and sensory perception: A study with vegan chocolate dessert. **Food Research International**, v. 196, p. 115069, 1 nov. 2024a.

SILVA, Thais L. T. Da *et al.* Equivalence salting and temporal dominance of sensations analysis for different sodium chloride substitutes in cream cheese. **International Journal of Dairy Technology**, v. 67, n. 1, p. 31–38, 1 fev. 2014.

SOUZA, Vanessa Rios De *et al.* Analysis of various sweeteners in petit suisse cheese: determination of the ideal and equivalent sweetness. **Journal of Sensory Studies**, v. 26, n. 5, p. 339–345, 1 out. 2011.

SOUZA, Vanessa Rios De *et al.* Salt equivalence and temporal dominance of sensations of different sodium chloride substitutes in butter. **Journal of Dairy Research**, v. 80, n. 3, p. 319–325, ago. 2013.

STONE, Herbert; SIDEL, Joel L. **Sensory Evaluation Practices**. [S.l.]: Academic Press, 2004.

TADHANI, Manish B.; SUBHASH, Rema. In Vitro Antimicrobial Activity of Stevia Rebaudiana Bertoni Leaves. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v. 5, n. 1, p. 557–560, 31 jul. 2006.

TAO, Ran; CHO, Sungeun. Consumer-Based Sensory Characterization of Steviol Glycosides (Rebaudioside A, D, and M). **Foods** **2020**, Vol. 9, Page 1026, v. 9, n. 8, p. 1026, 31 jul. 2020.

TAVARINI, S.; PASSERA, B.; ANGELINI, L. G. Crop and Steviol Glycoside Improvement in Stevia by Breeding. **Food Chemistry, Function and Analysis**, v. 2019-January, n. 7, p. 1–31, 25 out. 2018.

THOMAS, Arnaud *et al.* Temporal Drivers of Liking. **Food Quality and Preference**, v. 40, n. PB, p. 365–375, 1 mar. 2015.

TIAN, Xinyu; ZHONG, Fang; XIA, Yixun. Dynamic characteristics of sweetness and bitterness and their correlation with chemical structures for six steviol glycosides. **Food Research International**, v. 151, p. 110848, 1 jan. 2022.

TUORILA, Hely; MONTELEONE, Erminio. Sensory food science in the changing society: Opportunities, needs, and challenges. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, n. 2, p. 54–62, 1 fev. 2009.

WANG, Zhenyang *et al.* Heterologous expression of EUGT11 from *Oryza sativa* in *Pichia pastoris* for highly efficient one-pot production of rebaudioside D from rebaudioside A. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 163, p. 1669–1676, 15 nov. 2020.

WATANABE, Takehiro *et al.* Identification, Chemical Synthesis, and Sweetness Evaluation of Rhamnose or Xylose Containing Steviol Glycosides of Stevia (*Stevia rebaudiana*) Leaves. **Journal Of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 29, p. 11158–11169, 26 jul. 2023.

WEE, May; TAN, Vicki; FORDE, Ciarán. A comparison of psychophysical dose-response behaviour across 16 sweeteners. **Nutrients**, v. 10, n. 11, 2 nov. 2018.

WITHERS, Caroline *et al.* Adapting and enhancing sequential profiling to understand the effects of successive ingestion, using the sensory characteristics of high intensity sweeteners as a case study. **Food Quality and Preference**, v. 47, p. 139–147, 1 jan. 2016.

WÖLWER-RIECK, U. Analysis of Steviol Glycosides. **Food Chemistry, Function and Analysis**, v. 2019-January, n. 7, p. 84–112, 25 out. 2018.

YANG, Yunyi *et al.* Hierarchical Self-Aggregation of Multifunctional Steviol Glycosides in Aqueous Solutions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 72, n. 29, p. 16438–16448, 24 jul. 2024.

YOSHIDA, Ryusuke; NINOMIYA, Yuzo. Mechanisms and Functions of Sweet Reception in Oral and Extraoral Organs. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 13, 1 jul. 2024.

ZHANG, Jinzhu *et al.* Catalytic flexibility of rice glycosyltransferase OsUGT91C1 for the production of palatable steviol glycosides. **Nature communications**, v. 12, n. 1, 1 dez. 2021.

ZORN, Shari *et al.* Application of multiple-sip temporal dominance of sensations to the evaluation of sweeteners. **Food Quality and Preference**, v. 36, p. 135–143, 1 set. 2014.