

Polióis como substitutos à sacarose: obtenção, características químicas e implicações à saúde

Polyols as substitutes for sucrose: production, chemical characteristics, and health implications

Mírian Megda Cordeiro¹, Thaynan Aparecida Bueno Chagas¹, Bruno Martins Dala-Paula^{2*}

¹Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Instituto de Química, CEP 37130-001, Alfenas-MG, Brasil.

²Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Faculdade de Nutrição, CEP 37130-001, Alfenas-MG, Brasil.

*E-mail: bruno.paula@unifal-mg.edu.br

Resumo

Em decorrência da crescente prevalência de doenças crônicas não transmissíveis na população mundial, assim como da busca por substitutos alternativos à sacarose em produtos alimentícios, os polióis vêm recebendo destaque em pesquisas e aplicações pela indústria de alimentos. Assim, com esse artigo, teve-se como objetivo realizar uma revisão narrativa da literatura, identificando as características sensoriais, químicas, formas de obtenção, aplicações pela indústria de alimentos e os efeitos relacionados à saúde dos polióis: eritritol, isomaltose, lactitol, maltitol, manitol, sorbitol e xilitol. A literatura aponta que esses polióis apresentam perfil sensorial semelhante à sacarose, com exceção do sorbitol, que foi associado com leve sabor residual amargo e metálico. Os polióis apresentam boa estabilidade térmica, o que amplia a sua utilização em produtos alimentícios. Associado a isso, muitos polióis apresentam efeitos prebióticos, isto é, alcançam o intestino grosso servindo de substrato aos micro-organismos envolvidos com a saúde humana. No entanto, ainda existem algumas lacunas a serem respondidas, a exemplo do impacto de uma dieta pobre em polióis em crianças com disfunções gastrointestinais, da aceitação sensorial de maior diversidade de alimentos adoçados com polióis e de otimizações das condições de obtenção desses edulcorantes, visando o aumento de rentabilidade e redução de custos.

Palavras-chave: Eritritol. Isomaltose. Lactitol. Maltitol. Manitol. Sorbitol. Xilitol.

Abstract

Due to the increasing prevalence of chronic non-communicable diseases in the world population, as well as the search for alternative substitutes to sucrose in food products, polyols have been highlighted in research and applications by the food industry. Thus, with this article, the objective was to conduct a narrative review of the literature, identifying the sensory, chemical characteristics, ways of obtaining, applications by the food industry and the health-related effects of polyols: erythritol, isomalt, lactitol, maltitol, mannitol, sorbitol, and xylitol. The literature points out that these polyols have a sensory profile like sucrose, except for sorbitol, which was associated with a slight bitter and metallic residual flavor. Polyols have good thermal stability, which increases their use in food products. Associated with this, many polyols have prebiotic effects, they reach the large intestine serving as a substrate for microorganisms involved in human health. However, there are still some gaps to be answered, such as the impact of a low polyol diet on children with gastrointestinal disorders, the sensory acceptance of a greater diversity of foods sweetened with polyols and the optimization of the conditions for obtaining these sweeteners, aiming at increased profitability and reduced costs.

Keywords: Erythritol. Isomalt. Lactitol. Maltitol. Mannitol. Sorbitol. Xylitol.

1. Introdução

Os carboidratos são considerados a principal fonte de energia do organismo humano. Eles são encontrados na maioria dos alimentos, contribuindo com a textura, aparência, aroma e gosto, em especial a doçura. Além disso, possibilitam a adoção de diferentes tecnologias de produção por estarem envolvidos com importantes reações nos alimentos, como a de caramelização, a reação de Maillard e inúmeros processos fermentativos. Os carboidratos podem ser classificados a partir de sua complexidade estrutural, envolvendo o tamanho e peso molecular, sendo classificados como: monossacarídeos, oligossacarídeos (incluindo os dissacarídeos) e polissacarídeos [1, 2].

O consumo alimentar excessivo, especialmente de alimentos e refeições calóricas contendo elevados teores de açúcares e gorduras, contribui com o aumento da prevalência de sobrepeso e obesidade. Em indivíduos geneticamente predispostos, a grande demanda de insulina às células beta do pâncreas, contribui com a falência gradativa dessas células, podendo levar a um quadro de intolerância à glicose. Dessa forma, constantes e elevados níveis de glicemia proporcionam aumento do risco de diabetes mellitus tipo II, doença crônica não transmissível, intimamente associada com o sobrepeso e obesidade [3]. Além disso, o consumo excessivo de açúcares simples aumenta a produção de triglicerídeos e do risco de doenças cardiovasculares [4], estando associado à obesidade e contribuindo com o desenvolvimento de cáries dentárias [5].

Devido a esses problemas relacionados ao consumo de açúcar, a aplicação dos edulcorantes tem sido de suma importância em questões atreladas ao consumo de alimentos e à saúde. Com o avanço da tecnologia de produção dos edulcorantes, as alterações no consumo de alimentos têm sido radicais, visto que as indústrias de alimentos vêm aumentando o portfólio de produtos dietéticos ou com baixo teor calórico. Não só por estar sendo mais utilizado, mas também por permitir a elaboração de alimentos com gosto doce, sem a necessidade do aumento significativo de nutrientes energéticos. Assim, o emprego de edulcorantes transformou a maneira como os indivíduos se alimentam, possibilitando que pessoas com diagnóstico de diabetes e seguindo dietas hipocalóricas tenham acesso aos alimentos doces, sem o comprometimento de seus níveis glicêmicos e/ou consumo energético.

A utilização de polióis, poli-hidroxi álcoois derivados da hidrogenação de carboidratos, tem recebido destaque no mercado de alimentos. Uma pesquisa envolvendo 46 produtos alimentícios *diet* adquiridos no mercado varejista do município de Teresina-PI, identificou os polióis, maltitol e sorbitol, como o segundo e quarto edulcorante, respectivamente, com maior prevalência entre os produtos analisados. Os produtos derivados de cereais foram aqueles que apresentaram maior prevalência de polióis em sua formulação [6].

Por possuírem propriedades químicas e sensoriais semelhantes à sacarose, os polióis são considerados não cariogênicos, por não serem metabolizados pela micro-organismos bucal. No entanto, a menor contribuição calórica dos polióis é decorrente do seu metabolismo incompleto no organismo humano e baixa absorção ao longo do intestino delgado. Assim, o conteúdo não absorvido de polióis pode ser fermentado pela microbiota intestinal, e quando em excesso, poderá causar implicações gastrointestinais, tais como laxação, inchaço e agravamento de sintomas em pacientes com síndrome do intestino irritável [7].

Dietas contendo baixos teores de oligossacarídeos fermentáveis, dissacarídeos, monossacarídeos e polióis (FODMAPs) têm sido cada vez mais indicadas por clínicos e nutricionistas a fim de amenizar e tratar os sintomas de indivíduos que apresentam algum distúrbio gastrointestinal funcional, a exemplo da síndrome do intestino irritável. Estudos publicados na literatura apontam para o potencial efeito positivo desta intervenção em adultos [8]. No entanto, a extrapolação dessa conduta às crianças ainda é incerta e contraditória, uma vez que essas dietas são consideradas restritivas, o que poderia comprometer outras questões nutricionais e funcionais necessárias à saúde das crianças. Além disso, a restrição de oligossacarídeos e polióis pode comprometer negativamente a microbiota intestinal, atualmente relacionada com inúmeros desfechos à saúde [9].

A maior parte da produção dos polióis é obtida por processos químicos, a exemplo da hidrogenação de açúcares. No entanto, a literatura aponta para um aumento significativo do número de publicações envolvendo sua obtenção por meio da biotecnologia e da engenharia genética. Os processos emergentes de obtenção de polióis têm apresentado grande potencial de aplicação quando os custos e as condições de obtenção são levados em consideração [7].

Portanto, este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de literatura, do tipo narrativa, sobre os principais polióis utilizados como substitutos parciais ou totais à sacarose pelas indústrias alimentícias e caracterizá-los quanto aos atributos químicos e sensoriais, formas de obtenção, potenciais efeitos à saúde e aplicações em alimentos.

2. Desenvolvimento

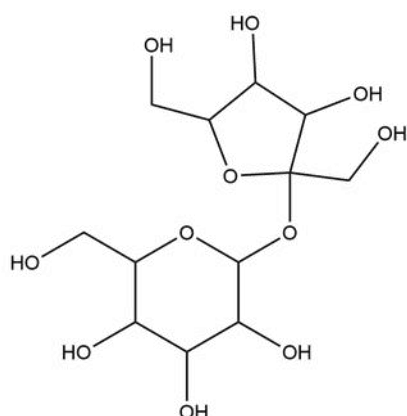
2.1 SACAROSE: OBTENÇÃO, CONSUMO E IMPLICAÇÕES À SAÚDE

O mel é supostamente o adoçante mais antigo do mundo, sendo que sua utilização pelos egípcios data de 2100 aC. O xarope de bordo, cuja obtenção era realizada por meio da fervura da seiva de ácer (*Acer saccharum*) no século XVII, era o adoçante mais empregado nas Américas, ao passo que nas áreas do Mediterrâneo, a alfarrobeira (*Ceratonia siliqua*) era a mais utilizada. Mais adiante, no século XVIII, junto ao desenvolvimento tecnológico, a sacarose, ou “açúcar de mesa”, começou a ser extraída da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e da beterraba (*Beta vulgaris*) e em seguida se transformou no principal adoçante [10].

A sacarose é um dissacarídeo formado pela ligação glicosídica de dois monossacarídeos, a frutose e a glicose (Figura 1), onde a carbonila da glicose, proveniente do grupo aldeído (extremidade redutora) está ligada ao grupamento cetona da frutose (extremidade redutora). A ligação estabelecida é do tipo α -D-glicopiranosil-(1-2) β -D-frutofuranosídeo, o que impossibilita a propriedade redutora do dissacarídeo, produzindo uma estrutura apropriada para unir aos receptores gustativos e atribuir o sabor doce tradicional dos alimentos [2, 11].

Esse dissacarídeo pode se apresentar como açúcar refinado, cristal, confeito, mascavo, invertido e líquido. No entanto, os açúcares, refinado e cristal, são os tipos mais comuns e são obtidos a partir da cana-de-açúcar. Além de ser utilizada como adoçante, ela contém outras funções alimentícias, como a de produzir soluções fortemente concentradas, com grande poder osmótico, dando efeito preservativo e umectante, bem como a capacidade de atuar como um crioprotetor em alimentos [2, 5]. A sacarose apresenta perfil sensorial com elevada aceitação entre os consumidores, sendo que a percepção de sua doçura até atingir seu pico acontece de forma rápida (dentro dos primeiros 10 segundos após contato com a boca), além de apresentar gosto residual mínimo [12].

Porém, desde a década de 1970, surgiram vários alertas sobre o consumo de açúcar na saúde humana, visto que sua ingestão excessiva tem sido ligada ao aumento da prevalência da obesidade e de diversas doenças crônicas, como diabetes mellitus tipo II, doenças cardiovasculares e hipertensão arterial. O diagnóstico associado dessas doenças é muito comum na síndrome metabólica. Outro problema tem sido o crescente número de doenças dentárias, tanto em adultos quanto em crianças, devido à grande demanda de alimentos produzidos com adição de açúcar [13].



Nome científico: 2-[3,4-dihidroxi-2,5-bis(hidroximetil)tetrahydrofuran-2-il]oxi-6-(hidroximetil)oxano-3,4,5-triol
Fórmula molecular: C₁₂H₂₂O₁₁
Massa molar: 342,3 g/mol

Figura 1. Estrutura química da sacarose. Fonte: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1115>. [14]

Ainda que a aplicação de sacarose e xaropes doces na produção de alimentos se sobressaia como ingrediente fonte de doçura, já existem inúmeros componentes que podem ser adicionados para substituir o açúcar de mesa no desenvolvimento de produtos [15]. Esses substitutos do açúcar são conhecidos popularmente como adoçantes e em termo técnico como edulcorantes e exibem o sabor doce característico da maioria dos açúcares [16].

2.2 EMPREGO DE POLIÓIS COMO EDULCORANTES NATURAIS EM ALIMENTOS

De acordo com a Portaria nº 540 - SVS/MS de 27 de outubro de 1997 [17], que aprova o Regulamento Técnico para Aditivos Alimentares, um edulcorante é uma das funções dos aditivos que, por definição, é tida como uma substância diferente dos açúcares, que quando adicionada é capaz de conferir o sabor doce ao alimento. A Resolução RDC nº 18 de 24 de março de 2008, emitida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), estabelece o Regulamento Técnico para consentir a sua utilização como substitutos parciais ou totais da sacarose em alimentos, dependendo dos seus respectivos limites máximos em 100 g ou 100 mL do alimento já pronto para o consumo. Esta resolução restringe a adição dos edulcorantes em alimentos e bebidas destinadas ao controle de peso, dietas com ingestão controlada ou restrição de açúcares e em produtos com informação nutricional complementar, relativo às alegações: “não contém/sem adição de açúcares”, “baixo/reduzido em açúcares” e “baixo/reduzido em valor energético” [18].

Um edulcorante tem seu poder de doçura estimado em relação ao açúcar de referência, glicose ou sacarose, sendo a comparação com a sacarose mais presente na literatura. Definiu-se arbitrariamente o poder de doçura de 1,0 (também encontrado como 100 pontos, a partir de outra escala), quando este se equivale ao da sacarose [2]. A aplicação de um edulcorante em produtos alimentícios é direcionada a partir de suas propriedades, tais como: solubilidade em água, grau de doçura em relação à sacarose, estabilidade às etapas do processamento aos quais os alimentos são submetidos (aquecimento, congelamento, aumento da pressão e outros), toxicidade, interação com outros componentes e ao seu perfil sensorial. Entretanto, proporcionar o sabor doce como o do açúcar, sem contribuir significativamente com calorias e sem causar um efeito residual não desejado na boca são as suas características mais importantes [19].

Considerando que a toxicidade de uma substância pode estar relacionada à sua dose e do desconhecimento dos possíveis efeitos adversos à saúde ocasionados pelo uso contínuo e em associação com outros aditivos, os edulcorantes atualmente permitidos passaram por intensos estudos toxicológicos. O *Codex Alimentarius*, por exemplo, se dedicou ao levantamento dos resultados e monografias disponíveis na literatura com o intuito de conhecer e propor uma recomendação com base na toxicidade dessas substâncias, estabelecendo uma dose segura [19]. Assim, estas substâncias recebem um valor de Ingestão Diária Aceitável conhecido como IDA, que é expresso em mg (da substância) x kg⁻¹ (peso corpóreo de um indivíduo). O IDA é responsável por estimar um limite diário,

em que a ingestão contínua de determinada substância não comprometa a saúde do indivíduo. Essa recomendação é baseada em informações toxicológicas disponíveis à luz do conhecimento científico da época, de tal forma que o consumo desta, ao longo de toda a vida, não ofereça riscos à saúde [20].

Os polióis, eritritol, isomaltose, lactitol, maltitol, manitol, sorbitol e xilitol apresentam IDA não especificada, sendo permitido pela ANVISA, o seu uso *quantum satis*, isto é, a adição de polióis em quantidades necessárias para se atingir o efeito tecnológico desejado, desde que esta utilização respeite as boas práticas de produção e não tenha como propósito encobrir falhas tecnológicas ou condições inadequadas de higiene. Especificamente em produtos alimentícios que contenham polióis, a RDC nº 18 determina que sejam obedecidos requisitos específicos de rotulagem referentes a efeitos laxativos [18]. A Portaria nº 29 de 13 de janeiro de 1998, ainda é considerada a base para a regulamentação técnica de alimentos para fins especiais, sendo exigida a presença da informação de advertência: “este produto pode ter efeito laxativo”, em rótulos de alimentos para fins especiais que possuam conteúdo de polióis que possam apresentar efeito laxativo [45].

Os polióis são classificados como edulcorantes nutritivos de origem natural. São também chamados de edulcorantes de corpo, sendo capazes de promover energia e textura aos alimentos, apresentando, na maioria das vezes, teor calórico levemente inferior ao da sacarose, sendo geralmente adicionados em quantidades superiores a ela. Além disso, os polióis não participam de reação de escurecimento de Maillard, por não serem considerados açúcares redutores [21]. Quando comparados à sacarose, os polióis apresentam importantes vantagens em relação à saúde. Essas substâncias não são fermentadas pela microbiota oral, sendo consideradas não cariogênicas. Apresentam índice glicêmico inferior ao açúcar de mesa, isto é, após o seu consumo, ocorre leve ou nenhum aumento da glicemia. Enquanto a sacarose apresenta índice glicêmico igual a 65 e a glicose equivalente a 100, os polióis estudados nesta revisão, contribuem com valores inferiores à metade do índice glicêmico da sacarose, sendo este comportamento específico para cada um dos polióis utilizados como aditivos alimentares [7].

Assim como todos os aditivos empregados em alimentos, os polióis são classificados em um sistema numérico internacional (INS, do inglês: *International Numbering System for Food Additives*), com o objetivo de padronizar e, assim, facilitar a comunicação entre diferentes países. Os aditivos apresentados nesta revisão estão acompanhados dos respectivos códigos INS [22].

2.2. PRINCIPAIS POLÍOIS: CLASSIFICAÇÃO, CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E SENSORIAIS, OBTENÇÃO, EFEITOS À SAÚDE E APLICAÇÕES

2.2.1 Eritritol (INS 968)

O eritritol (Figura 2) é encontrado naturalmente em algumas frutas como melão, pera e uvas, assim como em certos vegetais, cogumelos, mel, algas e bebidas fermentadas. Possui poder adoçante (ou de doçura) igual a 0,7 (considerando a escala onde 1,0 equivale ao poder de doçura da sacarose). Como consequência do índice glicêmico próximo a zero, a contribuição calórica do eritritol é desprezível, aproximadamente $0,2 \text{ kcal.g}^{-1}$, sendo o poliol menos energético dentre os comumente utilizados pela indústria de alimentos [11].

Com quatro átomos de carbono, é o poliol de menor massa molar. É tido como uma molécula simétrica existente somente na forma do isômero meso. A extração de eritritol presente nas frutas não é um processo rentável, em razão do baixo conteúdo presente em relação ao custo e morosidade das etapas de extração e purificação. A síntese química também não é o melhor caminho para a produção de eritritol, visto que demanda alto custo de produção, com o uso de temperatura elevadas e níquel como catalisador, além disso, apresenta baixo rendimento do produto. Em 1950, a produção biotecnológica do eritritol foi desenvolvida após pesquisadores identificá-lo em culturas de melaço de tarte cubano fermentadas por leveduras [23].

A geração de eritritol na indústria é apoiada pela fermentação por leveduras osmofílicas, *Moniliella* spp. e *Trichosporonoides megachiliensis*, e por bactérias ácido-lácticas, *Oenococcus oeni*, *L. mesenteroides* e *L. sanfranciscensis*. A biossíntese de eritritol empregando leveduras é feita por via metabólica, essencialmente pela via da pentose fosfato, que ocorre em duas etapas. A primeira produz NADPH e ribulose-5-fosfato e se trata de uma etapa oxidativa. A segunda é uma etapa não oxidativa, onde se produz a eritrose-4-fosfato. Em seguida, ocorre a desfosforilação da eritrose e sua subsequente redução a eritritol envolvendo uma molécula de NADPH. O substrato mais utilizado para essa via é a glicose, porém frutose, sacarose e glicerol também podem ser utilizados. Por outro lado, a biossíntese de eritritol por bactérias é realizada por espécies heterofermentativas, a exemplo da *Oenococcus oeni*, que é capaz de realizar a re-oxidação de NADPH por uma via alternativa do metabolismo anaeróbico da glicose. Ao longo do crescimento das bactérias, em condições anaeróbicas e presença de glicose como substrato, há grande relação entre NADPH e NADP^+ , o que inibe a enzima glicose-6-fosfato desidrogenase, isto é, provoca um excesso de glicose-6-fosfato. A glicose-6-fosfato em excesso é isomerizada em frutose-6-fosfato e, então, clivada em fosfato de acetila e eritrose-4-fosfato (etapa catalisada pela fosfocetolase). Logo, a eritrose-4-fosfato é reduzida em eritritol-4-fosfato e o NADPH é oxidado a NADP^+ . Por último, ocorre a desfosforilação do eritritol-4-fosfato em eritritol [24].

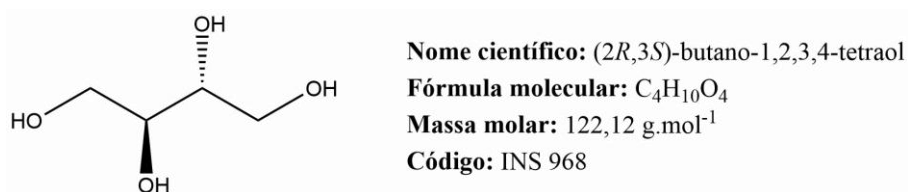


Figura 2. Estrutura química do eritritol. Fonte: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/222285> [25]

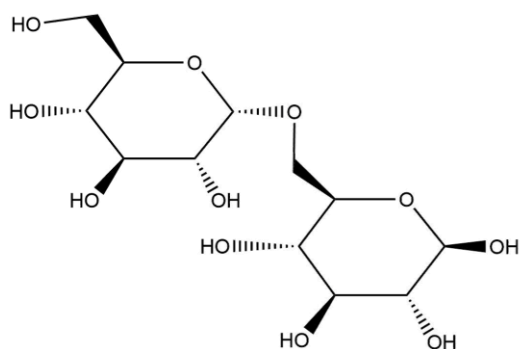
O eritritol é estável a altas temperaturas e em meios ácidos e alcalinos. Além disso, não participa da reação de escurecimento de Maillard por não ser um açúcar redutor. É considerado uma substância pouco higroscópica, com gosto doce “limpo”, sem interferências residuais notáveis à maioria dos consumidores, além de apresentar efeito de frescor na boca [26]. A utilização do eritritol como edulcorante em chá preto, leite com chocolate e iogurte natural apresentou perfil sensorial muito similar ao da sacarose, reforçando seu potencial emprego como substituto do açúcar de mesa, sem afetar negativamente a aceitação dos produtos estudados [27].

O eritritol é rapidamente absorvido pelo intestino delgado por difusão passiva e majoritariamente excretado na urina. Este poliol não é fermentado pela microbiota intestinal, e consequentemente, não influencia significativamente a diversidade ou quantidade da microbiota intestinal, se destacando por isso, dos outros polióis utilizados como edulcorantes [16].

Descoberto em 1848, esse edulcorante é utilizado em leites fermentados, doces, assados, chocolates, gomas de mascar, sorvetes, bebidas hipocalóricas, entre outros. O eritritol é de alta tolerância digestiva e possui propriedades antioxidantes. Testes negativos de toxicidade e carcinogenicidade demonstram que o consumo deste edulcorante é seguro [11].

2.2.2 Isomaltose, isomaltitol ou isomalte (INS 953)

O isomaltose (Figura 3) foi descoberto na década de 1960, sendo obtido a partir da hidrogenação enzimática da sacarose, em uma mistura de glico-manitol e glico-sorbitol. O processo de síntese é relativamente caro, apresentando baixos rendimentos [7]. Possui poder adoçante igual a 0,55, com baixa contribuição calórica, equivalente a $2,1 \text{ kcal.g}^{-1}$, aproximadamente a metade daquela proveniente da sacarose. A molécula de isomaltose não é consideravelmente absorvida pelo intestino delgado, apresentando assim baixo índice glicêmico, igual a 9. Este poliol é fermentado no cólon pela microbiota intestinal, ao contrário do eritritol [11].



Nome científico: (2*R*,3*R*,4*S*,5*S*,6*R*)-6-(((2*S*,3*R*,4*S*,5*S*,6*R*)-3,4,5-trihidroxí-6-(hidroximetil)tetrahidro-2*H*-piran-2-il)oxi metil)tetrahidro-2*H*-piran-2,3,4,5-tetraol

Fórmula molecular: C₁₂H₂₂O₁₁

Massa molar: 342,30 g.mol⁻¹

Código: INS 953

Figura 3. Estrutura química da isomaltose. Fonte: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/88735>. [28]

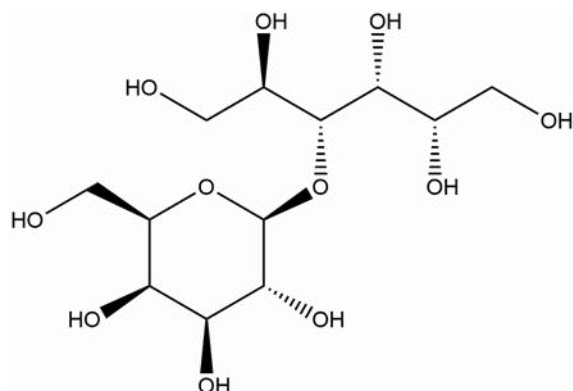
A isomaltose apresenta baixíssimo poder higroscópico, sendo resistente à perda de doçura durante o aquecimento, o que possibilita sua utilização como “adoçante de forno” em preparações que são submetidas a um dos possíveis processos de cocção. Diferente de outros polióis, não exibe efeito de frescor na boca. É utilizado junto a outros edulcorantes a fim de mascarar o gosto residual amargo da mistura [26]. Esse poliol apresenta boa estabilidade às alterações de pH, sendo estável tanto em meio ácido, quanto alcalino. Sua utilização em alimentos contribui com o volume e a textura do produto, tendo, assim, importante contribuição como ingrediente de corpo em produtos com baixo teor calórico [29].

O isomaltose é utilizado em balas, caramelos, gomas de mascar, produtos de panificação, suplementos nutricionais, gelatinas, chocolates, iogurtes, pastilhas para tosse e garganta, cremes dentais etc. Atua como fibra dietética no intestino, no entanto, o consumo excessivo dessa substância causa efeito laxativo [11].

2.2.3 Lactitol (INS 966)

O lactitol (Figura 4) foi descoberto em 1920 por um químico francês e é obtido a partir da hidrogenação catalítica da lactose. A reação de hidrogenação catalítica da lactose ocorre em reator de tanque agitado contínuo, de modo que este promove o contato entre o gás hidrogênio, o catalisador (sólido ou pasta) e a solução de lactose sem a presença de ar. Como a solubilidade do gás hidrogênio é baixa, variáveis como temperatura (110-150 °C) e pressão (20-70 bar) devem ser monitoradas a fim de garantir que a reação se desenvolva da melhor forma. Vários metais de transição podem ser empregados como catalisador, sendo que os principais são à base de níquel e rutênio com suporte de carbono ou alumina. O papel desses catalisadores é proporcionar a dissociação das moléculas de hidrogênio (H₂) e torná-las reativas no meio reacional. Dessa forma, ocorrerá a reação com o grupo carbonila das moléculas de lactose, visto que ambas as espécies estão adsorvidas no suporte com o catalisador, o que permite o contato entre elas e que a reação ocorra. Após a reação, o catalisador é retirado por filtração e a pasta de lactitol formada pode ser purificada por resinas de troca iônica. Em seguida, a pasta purificada é evaporada para adquirir um xarope de lactitol, que passa por cristalização, centrifugação e é isolado. O lactitol obtido é o produto de maior rendimento, cerca de 88 a 90% [30].

Possui poder adoçante igual a 0,35 e, por apresentar baixa doçura, costuma ser utilizado em associação com outros edulcorantes. Sua contribuição calórica é de 2,0 kcal.g⁻¹ e, assim como, a isomaltose, apresenta índice glicêmico próximo de 6,0. O lactitol apresenta a possibilidade de ser utilizado como agente de corpo, sem aumentar excessivamente a doçura e a potencial calórico do produto alimentício [11].



Nome científico: (2*S*,3*R*,4*R*,5*R*)-4-(((2*S*,3*R*,4*S*,5*R*,6*R*-3,4,5-trihidroxi-6-(hidroximetil)tetrahidro-2*H*-piran-2-il)oxi)hexano-1,2,3,5,6-pentaol

Fórmula molecular: C₁₂H₂₄O₁₁

Massa molar: 344,31 g.mol⁻¹

Código: INS 966

Figura 4. Estrutura química do lactitol. Fonte: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/157355> [31]

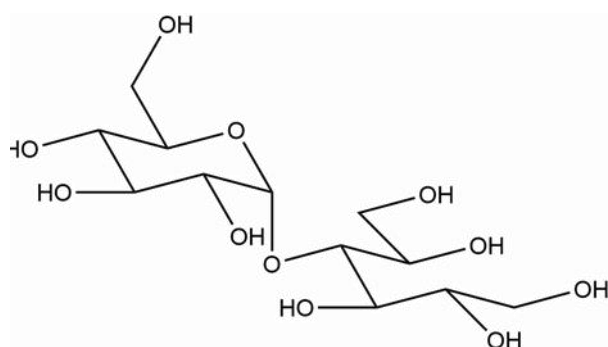
O lactitol possui boa solubilidade, boa estabilidade térmica e às condições ácidas e alcalinas identificadas nos alimentos. Esse edulcorante não participa das reações de escurecimento de Maillard e pode ser armazenado por longo período. Seu gosto doce é “limpo”, com baixa interferência de gostos residuais [15]. Atua como prebiótico, isto é, servindo de substrato com relativa especificidade às bactérias que contribuem com efeitos positivos à saúde humana. Contribui com o crescimento de bactérias probióticas e reduz a população de bactérias putrefativas (*Clostridium*, coliformes e *Eubacterium*), além do seu consumo estar associado com o aumento da produção de butirato no intestino grosso e secreção de imunoglobulina A (IgA), não associada à inflamação da mucosa intestinal em ratos. O butirato tem importante papel como substrato dos enterócitos, contribuindo com a integridade do endotélio intestinal [32].

Dentre as aplicações deste edulcorante estão sorvetes, chocolates, doces, assados, gomas de mascar etc. O lactitol não é cariogênico. Além disso, a fermentação desse edulcorante pela microbiota intestinal provoca a redução do pH intestinal, contribuindo com aumento da biodisponibilidade mineral. É uma substância relevante no tratamento de encefalopatia e constipação. Quando esse edulcorante é consumido em quantidade superior a 20 g em dose única, causa inchaço e flatulência [26].

2.2.4 Maltitol (INS 965)

O maltitol ou 4-O- α -D-glicopiranosil-D-sorbitol (Figura 5) é tido como um poliol dissacarídeo e não-redutor, sendo obtido a partir da hidrogenação da D-maltose, produzida pela hidrólise enzimática do amido de milho ou de batata. Em meados de 1960, a empresa japonesa Hayashibara Co., Ltda patenteou e industrializou o método de sacarificação da maltose por hidrólise enzimática. O processo se resume na liquefação do amido pré-cozido pela enzima α -amilase e subsequente clivagem da amilopectina por meio da enzima β -1-6-glucosidase, de modo que resulte em uma cadeia linear, que logo é quebrada pela enzima β -amilase para converter-se em xarope de maltose (maltose, maltotriose e oligossacarídeos). Após isso, ocorre a sua hidrogenação, a fim de produzir o xarope de maltitol, que então passa pelos processos de purificação, desidratação e cristalização, para obter o maltitol em sua forma cristalina [33].

Esse edulcorante apresenta elevada estabilidade, principalmente térmica. Possui poder adoçante próximo ao da sacarose, equivalente a 0,75. Sua contribuição calórica de 2,7 kcal.g⁻¹, corresponde a aproximadamente 67% daquela fornecida pela sacarose. Dentre os polióis comumente empregados como edulcorantes pela indústria de alimentos, o maltitol é um dos que apresentam maior índice glicêmico, equivalente a 36, ainda assim, inferior e baixo, quando comparado ao da sacarose [34].



Nome científico: 4-(((2*R*,3*R*,4*S*,5*S*,6*R*)-3,4,5-trihidroxi-6-(hidroximetil)tetrahydro-2*H*-piran-2-il)oxi)hexano-1,2,3,5,6-pentaol

Fórmula molecular: C₁₂H₂₄O₁₁

Massa molar: 344,31 g.mol⁻¹

Código: INS 965

Figura 5. Estrutura química do maltitol. Fonte: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/493591>. [35]

O consumo de maltitol é capaz de contribuir no aumento do número de bifidobactérias intestinais em indivíduos saudáveis, agindo, portanto, como um prebiótico. Esse efeito modulador da microbiota intestinal, proporciona redução da população de micro-organismos com potencial de patogenicidade ao ser humano. No entanto, quando consumido em grandes quantidades, pode causar inchaço abdominal e efeito laxativo [26].

O maltitol tende a ser mais solúvel em meio ácido, sendo utilizado em chocolates, produtos lácteos, assados, muffins, gomas de mascar, compotas, geleias, entre outros. O maltitol possui baixa higroscopicidade e não sofre caramelização ou processos de escurecimento não-enzimático. Seu gosto doce é “limpo” e o efeito de frescor gerado com o seu consumo, é insignificante. Dentre os polióis, o maltitol apresenta perfil sensorial mais similar ao do açúcar de mesa [11]. Esse importante atributo, é uma das possíveis razões para a sua elevada prevalência entre os produtos dietéticos disponíveis no Brasil [6].

2.2.5 Manitol (INS 421)

O manitol (Figura 6) foi descoberto pelo farmacêutico francês Joseph Louis Proust em 1806, apresentando-se como um pó de coloração branca e cristalina. Esse poliálcool pode ser naturalmente encontrado em frutas, algas marinhas e cogumelos [29].

É um isômero do sorbitol obtido a partir da hidrogenação catalítica da glicose, da extração catalítica de algas marinhas e maná, por conversão enzimática e fermentação por micro-organismos. A síntese química do manitol ocorre pela hidrogenação de misturas D-glicose e D-frutose em solução aquosa, que exige uma alta temperatura (120-160 °C), catalisador Ni-Raney e hidrogênio como redutor. Na reação, a β-frutose é convertida em manitol, ao passo que α-frutose e glicose produzem sorbitol como subproduto. Após a reação, é necessária a purificação do manitol para eliminação do catalisador e subsequente cristalização em baixa temperatura para se retirar o sorbitol. Contudo, as desvantagens deste método estão relacionadas às condições em que a síntese se estabelece, que elevam o custo da produção, e à grande quantidade de sorbitol formada, que resulta em baixo rendimento do manitol. Outro método que pode ser utilizado para produzir manitol é o de conversão enzimática, que é uma estratégia praticável. Porém, a indispensabilidade do uso de cofatores na conversão de D-glicose em D-manitol pela enzima manitol desidrogenase também é um fator limitante para o uso deste método [24].

Sua produção por micro-organismos tem sido estudada em bactérias, leveduras e fungos, que apresentam diferentes vias metabólicas de formação. A produção com bactérias lácticas homofermentativas, do gênero *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus* e *Pediococcus* não é energeticamente eficiente, ocorrendo quando as células microbianas se encontram em uma situação de estresse devido à incapacidade de regenerar o NAD⁺. Com isso, alternativas provenientes da engenharia genética, com nocaute do gene da lactato desidrogenase ou introdução de outros genes envolvidos na via metabólica, têm proporcionado rendimentos de 0,42 g.g⁻¹ de maltitol, considerando a glicose como substrato. No entanto, pesquisas com bactérias heterofermentativas dos gêneros *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus* e *Weissella*, que possuem aceptores alternativos de

elétrons, a exemplo da frutose que, quando utilizada com esse propósito, é convertida em manitol pela manitol 2-desidrogenase, têm apresentado rendimento superior. Essa via de produção do manitol apresenta um rendimento máximo, em teoria, de 2 mols de manitol para o consumo de 3 mols de frutose, ou seja, aproximadamente $0,66 \text{ g.g}^{-1}$. No entanto, quando há presença de glicose, pode ocorrer rendimento de 100% do manitol se uma proporção de 1:2 de glicose para frutose for aplicada [7].

A partir do exposto, a produção de manitol por fermentação por bactérias e leveduras possuem várias vantagens em comparação aos métodos de síntese química e extração de fontes naturais, tais como, possibilidade de toda a frutose ser convertida em manitol, os subprodutos são extraídos facilmente, as condições de produção são brandas e os substratos não precisam ter um grau de pureza elevado [24].

O manitol possui poder adoçante igual a 0,6 e contribuição calórica equivalente a $1,5 \text{ kcal.g}^{-1}$, inferior à metade da fornecida pela sacarose. A contribuição desse poliol com a elevação da glicemia é praticamente nula, apresentando índice glicêmico igual a zero [34], características altamente desejáveis na elaboração de produtos alimentícios para dietas com baixo aporte calórico e baixo teor de açúcares.

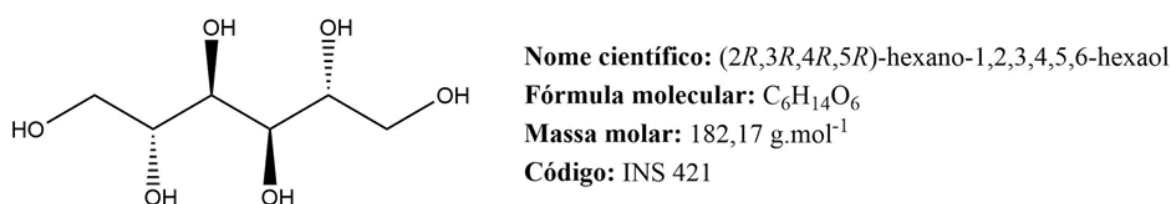


Figura 6. Estrutura química do manitol. Fonte: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6251> [36]

O manitol não é higroscópico e é estável a altas temperaturas. Seu gosto doce é agradável, com elevada razão entre o grau de doçura e o índice glicêmico praticamente desprezível. Além disso, o manitol apresenta efeito de frescor, possibilitando sua aplicação em produtos alimentícios com sabor de hortelã, menta, frutas cítricas e outros que apresentam o atributo de frescor. Esse edulcorante é utilizado em produtos farmacêuticos e de higiene pessoal, em especial aqueles destinados à higiene dental, assim como em doces, gomas de mascar, salsichas, bebidas etc. Sua utilização em produtos alimentícios está vinculada à sua elevada capacidade de metabolização, cerca de 75% do conteúdo ingerido é metabolizado, enquanto os 25% restantes são absorvidos e excretados na urina, sem serem metabolizados [16].

O manitol não contribui com o aumento dos níveis de glicose e insulina no sangue, apresentando assim, grande potencial de aplicação em produtos dietéticos. No entanto, consumido em quantidades superiores a 20 mg.kg^{-1} de peso corporal, pode causar dor abdominal, flatulência e diarreia, especialmente em indivíduos com síndrome do intestino irritável [26].

2.2.6 Sorbitol (INS 420)

O sorbitol (Figura 7) foi descoberto em 1872 por um químico francês. Trata-se de um hexa-hidróxi álcool de cadeia acíclica obtido industrialmente a partir da hidrogenação catalítica da glicose. O processo de redução provoca a saturação das ligações de carbono-carbono e carbono-oxigênio do grupo carbonila presente na glicose. Atualmente, o catalisador mais utilizado para sua produção é o Ni-Raney, devido ao seu baixo custo e por apresentar seletividade ao sorbitol superior a 99%, quando o pH, a elevada pressão (150 Bar) e a temperatura ($\sim 150^\circ\text{C}$) são controlados rigidamente. Temperaturas elevadas favorecem a formação de 5-hidroximetilfurfural que, por polimerização, pode gerar melanoidinas e contribuir com o escurecimento do produto [2]. Em meio ácido, a glicose pode sofrer tautomerização em frutose e, assim, gerar manitol. Além disso, durante a produção de sorbitol pode ocorrer lixiviação parcial do catalisador imobilizado em suporte e assim, a elevação dos custos de produção com etapas de purificação e reposição do catalisador [37].

Esse edulcorante apresenta-se como um sólido branco à temperatura ambiente e sem odor. Pode ser encontrado naturalmente em maçãs, peras, pêssegos, damascos, cerejas e nectarinas, bem como em frutos secos, como ameixas, tâmaras e passas e em alguns vegetais. Possui poder adoçante igual a 0,6, e

contribuição calórica de aproximadamente 2,5 kcal.g⁻¹. Assim como os demais polióis, o índice glicêmico do sorbitol é muito baixo, cerca de 9 [11].

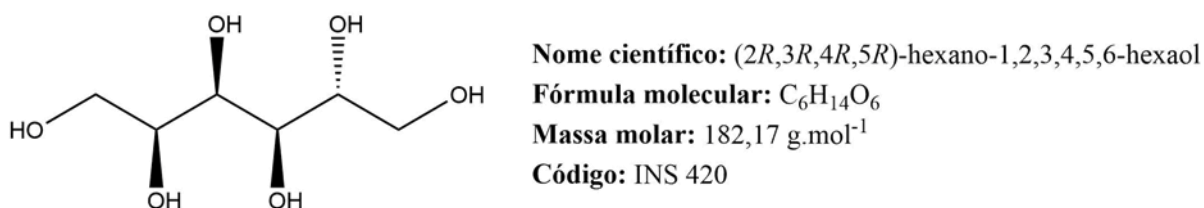


Figura 7. Estrutura química do sorbitol. Fonte: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5780> [38]

O sorbitol possui boa solubilidade e gosto doce, com frescor agradável, no entanto, pode conferir amargor e sabor metálico aos produtos alimentícios, se diferindo assim, dos demais polióis [12]. Suas aplicações incluem produtos farmacêuticos, cosméticos e alimentícios, como gomas de mascar, sobremesas, chocolates, produtos panificados e de confeitaria, entre outros. Quando ingerido em quantidade próxima a 10 g/dia pode causar sintomas leves em indivíduos saudáveis, como aumento da flatulência. No entanto, o consumo de dose superior a 20 g/dia está associado com dores abdominais e diarreia osmótica. A partir do seu elevado poder osmótico, esse edulcorante é geralmente menos tolerado que os demais, sendo outra característica que o distingue dos demais [39].

Considerando a elevada prevalência de sorbitol em alimentos, a literatura ainda é escassa de estudos clínicos prospectivos em crianças para avaliar o efeito do consumo de sorbitol na dieta e sua relação com sintomas de distúrbios gastrointestinais. Pensabene et al. [9] encontraram apenas duas pesquisas, ambas avaliando a redução de sorbitol associada à frutose, que apresentaram resultados positivos e moderadamente positivos. No entanto, os autores da revisão narrativa apontam vieses metodológicos dos estudos apresentados, a exemplo da utilização de questionário não padronizado ou não especificado para avaliar o impacto da dieta com baixos teores de sorbitol e frutose.

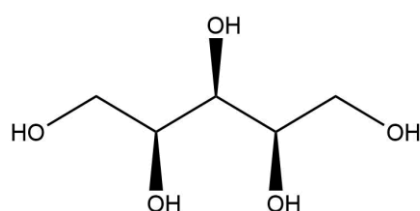
2.2.7 Xilitol (INS 967)

O xilitol (Figura 8) é encontrado em frutas e vegetais, tais como morango, couve-flor, framboesa, ameixa, entre outros. Contudo, a extração direta deste poliál não é economicamente viável, uma vez que está disponível naturalmente em quantidades muito pequenas. Neste sentido, este edulcorante é produzido industrialmente por meio do processo de hidrogenação catalítica da xilose, um dos carboidratos majoritários da hemicelulose. A primeira etapa de produção consiste na obtenção da xilose por meio da hidrólise ácida da biomassa de hemicelulose. As condições dessa reação (como temperatura, pressão, tempo de reação etc.) devem ser definidas de forma que seja produzida a maior quantidade possível de xilose e a menor possível de produtos indesejados, como ácido acético, furfural, hidroximetilfurfural e compostos aromáticos e poli-aromáticos. A segunda etapa diz respeito à purificação do hidrolisado obtido na fase anterior. Esse processo pode ser realizado por meio de métodos físicos, químicos e biológicos, como, por exemplo, tratamento com carvão ativado, cromatografia de troca iônica, extração por solvente, precipitação, tratamento com enzimas, entre outros. Ao final deste procedimento, obtém-se um material com maior concentração de xilose. A terceira etapa consiste na hidrogenação catalítica da xilose e é realizada na presença de um catalisador metálico (geralmente Ni-Raney), a altas temperaturas (80-140 °C) e alta pressão de hidrogênio (superior a 50 bar). A última etapa diz respeito à purificação do xilitol, na qual o catalisador metálico é separado mediante filtração e troca iônica e o edulcorante de interesse é obtido com alta pureza (maior que 98%) a partir do processo de cristalização [40].

O processo de obtenção do xilitol a partir da hidrogenação catalítica da xilose consome muita energia, o que acaba encarecendo o produto. Neste sentido, a fim de diminuir o custo do edulcorante, além de produzi-lo de forma ecologicamente mais adequada, novos procedimentos, como os biotecnológicos, por exemplo, têm sido estudados [40].

A produção de xilitol a partir da bioconversão de resíduos agroindustriais tem recebido destaque na literatura. Esse processo envolve a utilização de leveduras e fungos, com redução da xilose pela xilose redutase dependente de NAD(P)H em xilitol. Em presença de oxigênio, o xilitol produzido pode ser convertido a xilulose. Dessa forma, a redução de oxigenação deve ser controlada, a fim de aumentar o rendimento da bioprodução de xilitol. A literatura aponta para rendimentos de $0,81 \text{ g.g}^{-1}$ de xilitol quando hemicelulose hidrolisada de resíduo de horticultura foram empregados como fonte de xilose [7].

Possui poder adoçante igual ao da sacarose (isto é, 1), contribuição calórica de $2,5 \text{ kcal.g}^{-1}$ e índice glicêmico igual a 13 [11]. Essas características o torna um excelente substituto à sacarose em produtos alimentícios para fins especiais.



Nome científico: (2*R*,3*R*,4*S*)-pentano-1,2,3,4,5-pentol

Fórmula molecular: $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_5$

Massa molar: $182,17 \text{ g.mol}^{-1}$

Código: INS 967

Figura 8. Estrutura química do xilitol. Fonte: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6912>[41]

O xilitol é uma substância com grande estabilidade química e microbiológica. Não participa das reações de escurecimento de Maillard e possui gosto doce “limpo” e com frescor. Esse edulcorante é utilizado em gomas de mascar, balas, confeitos, compotas, caramelos, chocolates, geleias, sobremesas, pudins, cremes dentais enxaguantes bucais, entre outros produtos [42].

Estudos com ratos demonstraram que a administração desse edulcorante contribuiu com a redução da população fecal de *Bacteroidetes* e aumento das *Firmicutes* [16]. Elevada proporção de *Firmicutes/Bacteroidetes* tem sido associada à microbiota de indivíduos obesos, assim como a reduzida variabilidade de micro-organismos, o que poderia representar um alerta ao consumo de xilitol [43]. No entanto, as alterações da microbiota intestinal de ratos tratados com dieta acrescida de xilitol e daidzeína (um isoflavonóide), proporcionou redução dos níveis de colesterol plasmático quando comparado com o grupo controle, com dieta acrescida apenas de daidzeína. Sugerindo, assim, que dietas contendo xilitol e isoflavonóides podem contribuir favoravelmente com a saúde humana [44].

Além de não ser cariogênico, o xilitol contribui com a saúde bucal, por aumentar a produção de saliva (ajudando no tratamento da xerostomia), protege as proteínas salivares (efeito estabilizador), melhora o odor do hálito, reduz infecções na boca e nasofaringe, favorece a absorção de cálcio e vitaminas do complexo B, inibe o crescimento de leveduras (incluindo *Candida albicans*) e ajuda a manter a função intestinal saudável. Há raros casos relatados de laxação temporária e desconforto gastrointestinal [26].

3 Considerações Finais

Os polióis são amplamente utilizados como alternativa de substituição à sacarose em diversos produtos alimentícios, em especial, em alimentos para fins especiais com restrição ou ingestão controlada de carboidratos/açúcares, além daqueles destinados ao controle de peso. De modo geral, apresentam perfil sensorial semelhante à sacarose, com exceção do sorbitol, relacionado com leve sabor amargo e metálico. A utilização de polióis como substitutos da sacarose reduz o risco de desenvolvimento de cáries. A ação prebiótica associada ao consumo de isomaltose, maltitol, xilitol e lactitol está bem descrita na literatura, da mesma forma que os efeitos gastrointestinais ocasionados pelo consumo excessivo. O eritritol, diferente dos demais polióis, apresenta potencial utilização em dietas para indivíduos com disfunções gastrointestinais, por ser, dentre os polióis estudados nessa revisão, o único praticamente não calórico, que não sofre fermentação pela microbiota intestinal de humanos, por ser rapidamente absorvido. No entanto, sua obtenção ainda é mais difícil e onerosa comparado com outros polióis.

Os edulcorantes naturais estudados nesta revisão possuem boa estabilidade térmica, o que permite a sua utilização em produtos alimentícios que passarão pelo processamento térmico. As diferentes características químicas e sensoriais apresentadas, possibilitam a ampla aplicação pela indústria de alimentos e fomenta a condução de novas pesquisas para otimização de suas formas de obtenção, que perpassa pela extração de vegetais, síntese química, enzimática e biotecnologia.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), por incentivar o ensino por meio de metodologias ativas, o que possibilitou o desenvolvimento e aprimoramento deste artigo, a partir de um trabalho elaborado na disciplina de Tecnologia de Alimentos, oferecida ao Curso de Química (Bacharelado). Os autores agradecem a Fundação Cargill pelo suporte ao Projeto REPASSA-Sul de Minas (Rede de Produção de Alimentos a partir de Subprodutos dos Sistemas Alimentares do Sul de Minas Gerais), aprovado na 5ª ed. do Edital Alimentação em Foco.

Referências

- [1] F. M. Lajolo; A. Z. Mercadante, Química e Bioquímica dos Alimentos, Rio de Janeiro, Atheneu, 2018.
- [2] S. Damodaran; K. L. Parkin, Química de alimentos de Fennema, Porto Alegre, Artmed, 2019.
- [3] A. L. Sawaya; C. G. Leandro, D. L. Waitzberg, Fisiologia da Nutrição na saúde e na doença, Rio de Janeiro, Atheneu, 2018.
- [4] American Heart Association (AHA), Dietary fats and cardiovascular disease: a presidential advisory from the American Heart Association, AHA Journals, 136 (2017) 1-23.
- [5] T. M. Manhani; M. V. M. Campos; F. P. Donati; A. de H. Moreno, Sacarose, suas propriedades e os novos edulcorantes, Revista UNIARA, 17 (2014) 113-125.
- [6] L. R. de Oliveira; P. V. de L. Souza; G. M. dos Santos; N. V. dos A. Barros, Avaliação dos edulcorantes presentes em produtos diet, Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento, 13 (2019) 498-507.
- [7] T. Rice; E. Zannini; E. K. Arendt; A. Coffey, A review of polyols – biotechnological production, food applications, regulation, labeling and health effects, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60 (2019) 1-18.
- [8] R. Dolan; W. D. Chey; S. Eswaran, The role of diet in the management of irritable bowel syndrome: a focus on FODMAPs. Expert Review of Gastroenterology Hepatology, 12 (2018) 607-615.
- [9] L. Pensabene; S. Salvatore; R. Turco; F. Tarsitano; D. Concolino; M. E. Baldassarre; O. Borrelli; N. Thapar; Y. Vandenplas; A. Stafano; M. Saps, Low FODMAPS diet for functional abdominal pain disorders in children: critical review of current knowledge, Jornal de Pediatria, 95 (2019) 642-656.
- [10] C. H. Edwards; M. Rossi; C. P. Corpe; P. J. Butterworth; P. R. Ellis, The role of sugars and sweeteners in food, diet and health: Alternatives for the future, Trends in Food Science & Technology, 56 (2016) 158-166.

- [11] M. Carochio; P. Morales; I. C. F. R. Ferreira, Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come, *Food and Chemical Toxicology*, 107 (2017) 302-317.
- [12] V. W. K. Tan; M. S. M. Wee; O. Tomic; C. G. Forde, Temporal sweetness and side tastes profiles of 16 sweeteners using temporal check-all-that-apply (TCATA), *Food Research International*, 121 (2019) 39-47.
- [13] P. Shankar; S. Ahuja; K. Sriram, Non-nutritive sweeteners: Review and update, *Nutrition*, 29 (2013) 1293-1299.
- [14] Pubchem, Alpha-D-Glucopyranoside, beta-D-fructofuranosyl, 2019. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1115>>. Acesso em: 15 de jul. 2019.
- [15] S. I. Martínez-Monteagudo; M. Enteshari; L. Metzger, Lactitol: Production, properties, and applications, *Trends in Food Science & Technology*, 83 (2019) 181-191.
- [16] F. J. Ruiz-Ojeda; J. Plaza-Díaz; M. J. Sáez-Lara; A. Gill, Effects of Sweeteners on the GutMicrobiota: A Review of Experimental Studies and Clinical Trials, *American Society for Nutrition*, 10 (2019) 31-48.
- [17] Brasil, Ministério da Saúde – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Portaria nº 540, de 27 de out. de 1997, Brasília, 28 de out. de 1997.
- [18] Brasil, Ministério da Saúde – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), RDC nº 18, de 24 de mar. de 2008, Brasília, 25 de mar. 2008.
- [19] L. Guerreiro, Dossiê Técnico sobre Adoçantes, Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - SBRT, 2007.
- [20] Brasil, Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), RDC nº 45, de 03 de nov. de 2010, Brasília, 2010.
- [21] F. P. de Andrade Júnior; T. W. B. Alves; T. C. S. Formiga; M. E. da S. Menezes, Utilização e associação de alguns edulcorantes artificiais e sua influência na aceitabilidade de alimentos - uma revisão, *Educação Ciência e Saúde*, 3 (2017) 65-85.
- [22] FAO/WHO, The 18th Session (July 1989), Class names and the international numbering system for food additives, 1989.
- [23] K. Regnat; R. L. Mach; A. R. Mach-Aigner, Erythritol as sweetener—wherefrom and whereto?, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102 (2018) 587–595.
- [24] G. A. Martău; V. Coman; D. C. Vodnar, Recent advances in the biotechnological production of erythritol and mannitol, *Critical Reviews in Biotechnology*, 40 (2020) 1-15.
- [25] Pubchem, Erythritol, 2019. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/222285>>. Acesso em: 15 de jul. 2019.
- [26] M. Grembecka, Sugar alcohols - their role in the modern world of sweeteners: a review, *European Food Research and Technology*, 241 (2015) 1-14.

- [27] V. W. K. Tan; M. S. M. Wee; O. Tomic; C. G. Forde, Rate-all-that-apply (RATA) comparison of taste profiles for different sweeteners in black tea, chocolate milk, and natural yogurt, *Journal of Food Science*, 85 (2020) 486-492.
- [28] Pubchem, 1-O-alpha-D-Glucopyranosyl-D-mannitol, 2019. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/88735>>. Acesso em: 15 de jul. 2019.
- [29] S. Teixeira; J. Gonçalves; E. Vieira, Edulcorantes: uso e aplicação na alimentação com especial incidência na dos diabéticos, *Alimentação Humana*, 17 (2011) 47-54.
- [30] S. Cheng; S. I. Martínez-Monteagudo, Hydrogenation of lactose for the production of lactitol, *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 14 (2018) 1-18.
- [31] Pubchem, Lactitol, 2019. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/157355>>. Acesso em: 15 de jul. 2019.
- [32] D. L. Ackerman; K. M. Craft; S. D. Townsend, Infant food applications of complex carbohydrates: structure, synthesis, and function, *Carbohydrate Research*, 437 (2017) 16-27.
- [33] Aditivos & Ingredientes, Polióis, 35-49, 2016. Disponível em: <https://aditivosingredientes.com.br/upload_arquivos/201601/2016010952517001454073482.pdf>. Acesso em: 28 de abr. 2020.
- [34] M. Wee; V. Tan; C. A. Forde, Comparison of psychophysical dose-response behaviour across 16 sweeteners, *Nutrients*, 10 (2018) 1632.
- [35] Pubchem, Maltitol, 2019. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/493591>>. Acesso em: 15 de jul. 2019.
- [36] Pubchem, Mannitol, 2019. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6251>>. Acesso em: 15 de jul. 2019.
- [37] J. G. A. B. Silva; R. de S. Bispo; A. D. da S. Ruy; Y. Delgado-Arcaño; L. A. M. Pontes, Aspectos económicos y tecnológicos de la producción de sorbitol por vía química, *Revista Cubana de Química*, 32 (2019) 388-413.
- [38] Pubchem, Sorbitol, 2019. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5780>>. Acesso em: 15 de jul. 2019.
- [39] A. Lenhart.; W. D. Chey, A systematic review of the effects of polyols on gastrointestinal health and irritable bowel syndrome, *Advance in Nutrition*, 8 (2017) 587-596.
- [40] Y. D. Arcaño; O. D. V. García; D. Mandell; W. A. Carvalho; L. A. M. Pontes, Xylitol: a review on the progress and challenges of its production by chemical route. *Catalysis Today*, 344 (2020) 2-14.
- [41] Pubchem, Xylitol, 2019. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6912>>. Acesso em: 15 de jul. 2019.
- [42] S. I. Mussatto; I. C. Roberto, Xilitol: edulcorante com efeitos benéficos para a saúde humana, *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 38 (2002) 401-413.

-
- [43] A. C. F. M. Moraes; I. T. Silva; B. Almeida-Pititto; S. R. G. Ferreira, Microbiota intestinal e risco cardiometabólico: mecanismos e modulação dietética, *Arquivo Brasileiro de Endocrinologia Metabólica*, 58 (2014) 317-327.
- [44] M. Tamoura; C. Hoshi; S. Hori, Xylitol affects the intestinal microbiota and metabolism of daidzein in adult male mice, *International Journal of Molecular Sciences*, 14 (2013) 23993-24007.
- [45] Brasil, Ministério da Saúde – Secretaria de Vigilância Sanitária, Portaria nº 29, de 13 de jan. de 1998, Brasília, 1998.