

A EVOLUÇÃO DO AÇÚCAR

O açúcar é um componente importante na formulação de vários alimentos. Fornece doçura e sabor, assim como tem efeito na cor, textura, expansão e aparência geral do produto. Contribui, ainda, no valor nutricional como fornecedor de energia. Nos processos de fermentação, serve de alimento à levedura.

INTRODUÇÃO

A doçura sempre foi uma característica popular dos alimentos. O mel, provavelmente, foi a primeira fonte de açúcar usada pelo homem. Muitas plantas têm açúcar nos seus tecidos, mas apenas a cana-de-açúcar, *Saccharum officinarum*, e a beterraba, *Beta vulgaris*, são usadas para extrair açúcar em quantidades comerciais. Em ambos os casos, o açúcar é a sacarose. O uso do açúcar de cana já era comum em 1700, enquanto o açúcar de beterraba foi extraído pela primeira vez em 1798 e a indústria do açúcar de beterraba se tornou importante na França e na

Alemanha. Napoleão encorajou seu desenvolvimento como um meio de boicotar o açúcar de cana vindo das colônias britânicas. O açúcar e o cacau foram as primeiras *commodities* a serem processadas através de métodos industriais.

O açúcar branco começou a ser processado em aproximadamente 1850. No estado refinado, há muito pouca diferença entre a sacarose extraída da cana e da beterraba.

Outros tipos de açúcares são obtidos a partir do processamento de amidos. Na quebra dos amidos ocorre a formação de açúcares, a maioria deles apresentando um certo grau de doçura. Esta quebra acontece naturalmente através da ação enzimática; é assim que se obtém o malte, pela germinação dos cereais. A tecnologia de conversão dos amidos é hoje muito desenvolvida e, pela combinação de ação enzimática e hidrólise ácida, pode-se obter açúcar e misturas de carboidratos com graus de doçura variados.

A ORIGEM DO AÇÚCAR

O homem percebe quatro sabores: ácido, amargo, salgado e doce. O sabor doce é o que se descobre primeiro, logo após o nascimento, por meio do leite materno.

Na história da humanidade, pode-se notar o interesse das

diversas civilizações pelas substâncias doces. Felizmente, a natureza as oferece em profusão. A mais antiga, junto com as próprias plantas e frutas, é certamente o mel. A mitologia já celebrava suas virtudes. Os deuses eram grandes apreciadores de mel. Ele possuía múltiplas virtudes, como de prolongar a vida e preservar a decomposição. O mel também servia para fabricar o hidromel, a bebida dos deuses. Por ser um produto

boas razões de se pensar que os chineses e os indianos sabiam há muito tempo como usar a seiva da cana-de-açúcar que crescia em seus países como planta parasitária. A lenda ainda conta que os asiáticos conheciam desde os tempos mais remotos como fabricar açúcar cristalizado. O açúcar de cana é, de fato, de fácil extração e conservação.

Alguns livros mencionam que os hindus foram os primeiros a espremer

litorânea do Mediterrânea Oriental, monopolizando cuidadosamente seu cultivo e reservando-se o direito de exportar o produto acabado. Mas, as invasões, as conquistas e o desenvolvimento do comércio, tanto por mar quanto pelas caravanas, contribuíram para expandir a cultura da cana-de-açúcar do rio Hindus até o Mar Negro, e do Golfo Pérsico até os confins do Saara.

Em torno de 600 d.C., os Persas melhoraram o refino da massa cristalizada e a moldaram, pela primeira vez, em formas cônicas, dando-lhe o formato do atual pão de açúcar, batizado na época de Tabarseth.

No século VII, os árabes invadiram a Pérsia, descobriram a cana-de-açúcar e, por sua vez, a implantaram nos países mediterrâneos que ocupavam, a saber, Egito, Palestina, Rodes, Chipre, África do Sul, Sul da Espanha e Síria. Aperfeiçoaram os processos de purificação do xarope e conseguiram obter um líquido marrom escuro, pegajoso, que chamaram de Kurat al Milh. É esse termo que está na origem da palavra caramelo. Os egípcios melhoraram ainda mais a qualidade dos xaropes, filtrando-os com cal.

Durante séculos, o açúcar não saiu do Mundo Árabe. Foram os cruzados que, a partir do século XII, levaram o açúcar para a Europa cristã: no meio das numerosas especiarias raras e desconhecidas no Ocidente, que eles trouxeram da Terra Santa, estava o açúcar branco!

Assim, na Europa, essa nova “especiaria” era vendida, assim como as outras, nos apotecários, por preços elevados. Durante muito tempo foi considerado como remédio. Recebeu nomes insólitos e charmosos, tais como pão de açúcar, açúcar em pedra ou, ainda, em rocha. Seu comércio foi muito ativo. Foi Veneza que assegurou o abastecimento a partir dos países do Próximo Oriente e das Índias Orientais; a cidade tornou-se a capital açucareira da Europa e desenvolveu, paralelamente, a indústria do refino.

Pouco a pouco o cultivo da cana-de-açúcar se espalhou no mundo cristão,



relativamente raro, seu consumo era reservado para a elite. Na Grécia Antiga, o preço de meio litro de mel correspondia ao preço de um carneiro. No Antigo Testamento, a expressão “Terra do leite e do mel” é encontrada oito vezes, para designar a Terra Prometida, a Terra do povo de Israel.

Mais de oito mil anos a.C., o homem já conhecia uma gramínea herbácea, com forte concentração de açúcar, a cana-de-açúcar. Originária da Melanésia, e mais exatamente da Nova Guiné, onde crescia no estado de planta silvestre e ornamental, a cana-de-açúcar foi se disseminando em vários lugares do Sul do Oceano Pacífico, na Indochina, no Arquipélago da Malásia e no Bengala, sendo certo o seu aparecimento como planta produtora de açúcar na Índia tropical.

No início, o homem contentava-se em mastigar seu caule, mas existem

os caules de cana-de-açúcar e a proceder à evaporação, em fogos abertos, do suco assim recolhido. Eles obtinham assim uma espessa massa amarronzada, na qual se formavam cristais quando a mesma resfriava. Eles passariam a chamar essa massa cristalizada de sarkara. O termo sânscrito sarkara, que significa grão, deu origem a todas as versões da palavra açúcar nas línguas indo-européias: sukhar em árabe, saccharum em latim, zucchero em italiano, seker em turco, zucker em alemão, e sugár em inglês. Os hindus também descobriram que o açúcar permite conservar as frutas.

Em torno de 500 a.C., por ocasião das expedições do rei da Pérsia Dáris, o Grande (522-486 a.C.) pelo rio Hindus, os persas descobriram e apreciaram imediatamente essa cana que dava açúcar sem a ajuda das abelhas. Os persas trouxeram esse vegetal de volta e desenvolveram a sua cultura em toda a faixa

principalmente, na Espanha e Portugal, na ilha da Madeira e nos Açores, onde se aprendeu rapidamente a aclimatá-lo. Essa nova produção veio a concorrer com aquela do Oriente.

Em 1497, Vasco da Gama (1468-1524) passou pelo Cabo da Boa Esperança, abrindo assim as portas das Índias aos navegadores portugueses. Veneza perdeu, então, o monopólio do comércio do açúcar e se viu suplantada por Lisboa que, por sua vez, transformou-se na capital do refino do açúcar.

No Norte da Europa foi a cidade de Bruges que, na Idade Média, foi o centro açucareiro. Mas no século XVI, com o assoreamento do estuário do rio Zwin, que ligava a cidade ao mar, sua riqueza econômica e política foi acabando, e a cidade caiu num estado de letargia, perdendo sua importância para Antuérpia. Depois, durante as guerras religiosas, o centro do comércio e refino do açúcar transferiu-se para Amsterdã, porém a prosperidade dessa cidade holandesa viria a declinar com o início das guerras marítimas contra a Inglaterra.

No fim do século XV, Cristóvão Colombo (1451-1506) descobriu a América. Logo na sua segunda viagem, introduziu o cultivo da cana-de-açúcar em São Domingos. Foi o primeiro e decisivo passo na propagação dessa cultura em todos os países que viriam a ser co-

lonizados pelos espanhóis e pelos portugueses, e depois pelos franceses e os ingleses. Numerosas plantações desenvolveram-se muito rapidamente no Brasil, em Cuba, no México e nas Antilhas, para ganhar depois toda a América do Sul. Por outro lado, os colonos holandeses introduziram a cultura intensiva da cana-de-açúcar nas ilhas do Oceano Índico e da Indonésia. A cana-de-açúcar acabou assim seu périplo de volta ao mundo, implantando-se também nas Filipinas, no Havaí e na Oceania.

Até o alvorecer do século XIX, todas as nações européias esforçaram-se para assegurar sua própria produção açucareira através de suas colônias.

Asseguraram o comércio e o refino deste gênero alimentício e numerosas refinarias nasceram em todos os grandes portos europeus. O consumo de açúcar cresceu sem parar e seu preço foi caindo progressivamente.

A notoriedade deste novo produto foi assegurada pelos marinheiros e pelos comerciantes das ilhas longínquas que, de volta a terra natal, consumiam todos os produtos exóticos, açúcar, café, cacau, e contribuíam assim ao seu importante consumo. A nova moda do café e do chocolate ajudou a desenvolver ainda mais o consumo do açúcar, que triplicou em um século. O próprio Voltaire escreveu: *“O café deve ser preto como a noite, quente como o inferno e doce como o amor”*.

Os eventos políticos do final do século XVIII e do início do século XIX - a revolução francesa e os conflitos internacionais que a mesma gerou, seguido pelo Bloqueio Continental instituído por Napoleão, em 1806 - paralisaram o comércio do açúcar de cana em todo o continente europeu e, parti-

cularmente, na França. Em 1808, não se encontrava mais o famoso açúcar exótico em Paris e seu preço tornou-se exorbitante. As autoridades francesas estimularam a procura de sucedâneos. Frutas, mel, uvas, raízes, tudo foi experimentado.

As pesquisas iniciadas no início do século XVII pelo agrônomo francês Olivier de Serres (1539-1619), atestando a presença de açúcar cristalizável nas beterrabas, seguidos bem mais tarde, em 1745, pelos trabalhos do químico berlinense Andreas Sigismund Marggraf (1709-1782), que conseguiu extrair e solidificar o suco desta planta, passaram a ter uma importância considerável. Em 1747, provou que o açúcar de cana e de beterraba são idênticos. Franz Karl Achard (1753-1821), aluno de Marggraf, continuou suas pesquisas e, em 1798, produziu o primeiro açúcar de beterraba. Após melhorias na cultura da beterraba, em 1802, montou uma primeira fábrica experimental de açúcar de beterraba, na Silésia, com o apoio financeiro de Frederico Guilherme III (1770-1840). Os resultados apresentaram-se tão satisfatórios que várias usinas começaram a aparecer na Silésia e na Boêmia. A notoriedade da descoberta ultrapassou as fronteiras



Saccharum officinarum - Cana-de-açúcar



Beta vulgaris - Beterraba

e a França napoleônica vislumbrou uma solução para seus problemas de abastecimento. Após cinco anos de pacientes pesquisas, Benjamin Delessert (1773-1847) conseguiu produzir, em 1812, pães de açúcar de beterraba, refinados graças a novos processos de depuração. Napoleão Bonaparte entendeu imediatamente o futuro dessa nova indústria. Por decreto, ordenou que milhares de hectares fossem consagrados a cultura da beterraba açucareira e concedeu favores aos agricultores que aceitaram praticá-la.

No fim do Império, mais de 200 fábricas de açúcar operavam na França, produzindo um total de 2.000 a 3.000 toneladas de açúcar. Com a queda do Imperador Napoleão Bonaparte (1814), o açúcar das colônias, cujos estoques foram acumulando-se, chegou em massa nos portos franceses e o açúcar local, em alguns dias, perdeu 75% de seu valor. Um grande número de fábricas, arruinadas, foram obrigadas a fechar suas portas, após ter passado por importantes perdas.

Em 1848, a abolição da escravidão gerou uma forte subida do preço do açúcar de cana e uma diminuição da produção. Com isso, a indústria do açúcar de beterraba tornou-se rentável. Pouco a pouco foi fortalecendo sua posição por melhorias técnicas, pela construção de grandes unidades de produção e pela seleção das melhores espécies de beterrabas. Em 1875, a França produzia 450.000 toneladas de açúcar e foi o primeiro produtor europeu, seguido pela Alemanha. Em 1900, o açúcar de beterraba representava 53% do consumo mundial. A Primeira Guerra Mundial, de 1914/18, transformou as grandes plantações de beterrabas em campos de batalha e, a produção na França e na Bélgica para a participação do açúcar de beterraba no consumo mundial caiu para 26%. Nos anos de 1950 subiu de novo para atingir cerca de 40% e, em 1995, não representava mais de 30%.

A cana-de-açúcar foi trazida para o Brasil em 1502. Com mudas de cana da ilha da Madeira, o militar português Martim Afonso de Souza (1500-1571), em 1533, fundou na Capitania de São Vicente, próximo à cidade de Santos, Estado de São Paulo, o primeiro

engenho para produzir açúcar, com o nome de São Jorge dos Erasmos.

Novas pequenas plantações de cana foram introduzidas em várias regiões do litoral brasileiro, passando o açúcar a ser produzido nos Estados do Rio de Janeiro, Bahia, Espírito Santo, Sergipe e Alagoas. De todas essas regiões, a que mais se desenvolveu foi a de Pernambuco, chegando a ter em fins do século XVI cerca de 70 engenhos. Nessa região, foi introduzida por Duarte Coelho, a quem foi doada a capitania em 1534. O primeiro engenho regular de açúcar levantado em Pernambuco foi o Engenho Nossa Senhora da Ajuda, de Jerônimo de Albuquerque, nos arredores de Olinda. A primeira usina foi inaugurada em 24 de janeiro de 1887, equipada com maquinismos da Casa Mariolle Pinguet, da França: a usina modelo da Colônia Orfanológica Isabel, com capacidade para produzir cinco toneladas de açúcar por dia.

O engenho de produção canaveira propriamente dito compreendia várias edificações, cada uma delas destinadas a uma fase do processamento da cana. Na Casa da Moenda, a cana era esmagada em cilindros movidos por uma roda d'água ou por parrelhas de bois, obtendo o caldo da cana. Depois, os escravos transportavam o caldo para a Casa das Fornalhas, a fim de ser concentrado em grandes tachos de cobre e transferido para as formas, onde o açúcar cristalizava. Já na Casa de Purgar, a massa era purificada e dividida em pedaços chamados pães-de-açúcar.

Durante o período colonial, século XVII, a indústria do açúcar sofreu um grande desenvolvimento. Os holandeses, portadores de tecnologia de ponta, deram nessa época um grande impulso à fabricação do açúcar. As melhores condições de clima e solo do Nordeste brasileiro e a maior proximidade com o continente europeu favoreceram o desenvolvimento do açúcar naquela região.

No século XVIII, a indústria açucareira brasileira declinou, principalmente, porque os holandeses, expulsos do Brasil, imigraram para o Suriname e as Antilhas, constituindo fortes concorrentes

aos produtores brasileiros. O interesse dos paulistas e mineiros pela mineração (século XVIII), o crescimento da indústria da beterraba (século XIX), o interesse pela cultura do café (século XX), os problemas político-sociais, decorrentes da invasão estrangeira (século XVIII) e das grandes guerras mundiais (século XX), a incidência de pragas e moléstias (século XX) e os baixos preços, fizeram com que a produção de açúcar no Brasil, nesses últimos séculos, passasse por diversas fases de desenvolvimento, com altos e baixos.

Na busca de novas fontes de energia como alternativa à crise do petróleo na década de 70, o governo brasileiro passou a investir grandes quantias no



cultivo da cana-de-açúcar, a fim de se obter o álcool a partir da fermentação da sacarose. Com isso, a indústria açucareira se viu beneficiada, devido a investimentos na modernização dos engenhos, compra de novos equipamentos, melhoria do processo, etc.

A MOLÉCULA DE AÇÚCAR

O conhecimento íntimo da molécula que constitui o açúcar de cana ou de beterraba é importante por várias razões. De fato, permite melhor compreender suas propriedades (químicas, físicas e biológicas) no intuito de aprimorar suas aplicações industriais: reatividade com outros compostos, velocidade de cristalização, modelização do sabor doce, etc.

Desde o século XIX, a molécula de açúcar foi objeto de numero-

sas pesquisas. Fácil de obter, puro, barato e não tóxico, o açúcar foi amplamente pesquisado por químicos, tais como Eugène-Melchior Péligot (1811-1890) e Justus von Liebig (1803-1873) que, nos anos de 1830, mostraram que o açúcar é composto de carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O). Sua fórmula química bruta é $C_{12}H_{22}O_{11}$ com massa molar de 342,297 g/mol.



No fim do século XIX, o químico alemão Hermann Emil Fischer (1852-1919), prêmio Nobel de química em 1902, propôs uma representação do açúcar com os ciclos glicose e frutose que o constituem. Foi somente 30 anos mais tarde que a equipe do químico britânico Sir Walter Norman Haworth (1883-1950), prêmio Nobel de química em 1937, confirmou esses trabalhos e apresentou uma imagem da molécula de açúcar em perspectiva. Essa apresentação muito didática foi amplamente usada e propagada pelo Prof. William Ward Pigman, nos anos de 1950, e ainda se encontra, hoje em dia, nos livros de bioquímica.

Desde os anos de 1960, interessa-se a conformação da sacarose, ou seja, no arranjo tri-dimensional de seus elementos constitutivos. Assim, vários trabalhos confirmaram a existência de ligações H no interior da molécula de sacarose.

Atualmente, estuda-se a sua topografia para poder entender, entre outras coisas, como a molécula de açúcar integra-se aos receptores gustativos ou, de forma mais simples, porque o açúcar é doce!

Em resumo, a sacarose é constituída de duas moléculas, uma de frutose e uma de glicose; em outras palavras, é um dissacarídeo, ou seja, um composto formado pela união de dois monossacarídeos: a glicose e a frutose. Seu nome oficial e internacional é bastante simples: d-glicopiranosil-d-frutofuranosídeo.

Um cristal é um sólido constituído de íons, átomos ou de moléculas, organizados segundo um plano regular e repe-

titivo. Assim, esse material apresenta características particulares, como a forma e a cor. No estado cristalizado, o açúcar não apresenta nenhuma característica particular, nem odor, nem cor. Cristaliza sob a forma de um prisma anidro de 15 facetas e cujos eixos de simetria são ligeiramente inclinados. Porém, esses cristais perfeitos são raramente encontrados. Em um pequeno grão de açúcar observado com uma lupa, ou em um cristal gigante, observa-se somente 8 a 10 facetas. O açúcar comercializado é puro a mais de 99,8%. Os 0,2% restantes são constituídos essencialmente de água, de minerais em quantidades diminutas e de glicose.

Um cristal de açúcar esquentado a seco começa a derreter em torno de 160°C a 170°C, mas seu ponto de fusão é exatamente 186°C. Acima desta temperatura, começa a formar compostos caramelizados.

FABRICAÇÃO DO AÇÚCAR DE CANA E DE BETERRABA

O processo de fabricação de açúcar de cana, se inicia com a lavagem da cana, para remover a terra e os detritos, para ser depois picada e esmagada em moendas, na preparação para a remoção do caldo. O caldo é extraído pela passagem da cana esmagada através de uma série de moendas. Para macerar a cana e auxiliar a extração é possível adicionar água ou caldo diluído às moendas. Extraem-se cerca de 93% do caldo da cana. O bagaço ou é queimado como combustível na usina ou serve para fabri-

car papel, compensado ou material isolante.

O caldo é coado, para remover as impurezas grossas e tratado por cal para coagular parte da matéria coloidal, precipitar certas impurezas e modificar o pH. Adiciona-se um pouco de ácido fosfórico, pois os caldos que não contêm um pouco de fosfato não são bem clarificados. A mistura é aquecida com vapor

de água à alta pressão e decantada em grandes tanques (decantadores do caldo) ou em decantadores ou espessadores contínuos.

Para recuperar o açúcar dos lodos decantados usam-se filtros a vácuo, contínuos, a tambor rotatório, ou prensas de quadro. A torta atinge de 1% a 4% do peso da cana utilizada e é usada como adubo.

O filtrado, um caldo clarificado com elevado teor de cal, contém em torno de 85% de água. É, então, evaporado até aproximadamente 40% de água, em evaporadores a triplo ou a quádruplo efeito, tornando-se um xarope grosso, amarelado. O xarope resultante é lançado no primeiro estágio de um evaporador a vácuo de três efeitos, onde atinge um determinado grau de supersaturação. Adicionam-se núcleos de açúcar cristal (semeadura) e, pela adição de xarope grosso e evaporação controlada, os cristais crescem até o tamanho desejado nesses cristalizadores. Nesse ponto, o vácuo está quase cheio de cristais de açúcar, com cerca de 10% de água. A mistura de xarope e cristais (a massa cozida) é lançada em um cristalizador, que consiste em um tanque horizontal com agitação, dispondo de serpentinas de arrefecimento. Nesse cristalizador há uma deposição adicional de sacarose sobre os cristais já formados, e a cristalização está completa. A massa cozida é então centrifugada para remover o xarope. Os cristais são de açúcar demerara de boa qualidade e o xarope é reciclado para obtenção de uma ou mais cristalizações. O líquido residual, depois da reciclagem, é conhecido como melão.

O açúcar demerara (ligeiramente amarelado), com aproximadamente 97,8% de sacarose, é enviado à refinaria de açúcar. Os melaços são usados como matéria de fermentação cítrica e outras; antigamente, usava-se muito como fonte de carboidratos para ração de gado.

O açúcar demerara é entregue a granel nas refinarias. A primeira etapa da refinação é a afinção, na qual os cristais do açúcar são tratados por um xarope concentrado (60 a 80 Brix), a fim de ser removido o filme aderente de mel. Esse xarope concentrado dissolve pouco os cristais, mas amolece ou dissolve o revestimento de impurezas. A operação é efetuada em misturadores homogeneizadores, que são transportadores-parafusos robustos, providos de palhetas misturadoras resistentes. O xarope é removido em uma centrífuga (turbina) e a torta de açúcar é borrifada com água. Os cristais são lançados em um tacho, onde são dissolvidos por cerca da metade do seu peso em água quente, parte

da qual é água com açúcar proveniente dos filtros-prensa. O xarope das turbinas é dividido, sendo uma parte diluída e reutilizada como xarope do misturador, e o restante diluído em cerca de 54 Brix e enviado ou à unidade de clarificação e filtração, ou para os tachos para nova fusão. O açúcar derretido e lavado (nas refinarias, o derretido quer dizer dissolvido) sofre então um processo conhecido como clarificação. O processo pode ser mecânico ou químico. A clarificação mecânica utiliza a adição de diatomita ou material semelhante inerte; o pH é então ajustado e a mistura é filtrada em uma prensa. Este sistema origina uma solução absolutamente clara, sem melhorar a coloração, e é um processo essencialmente descontínuo.

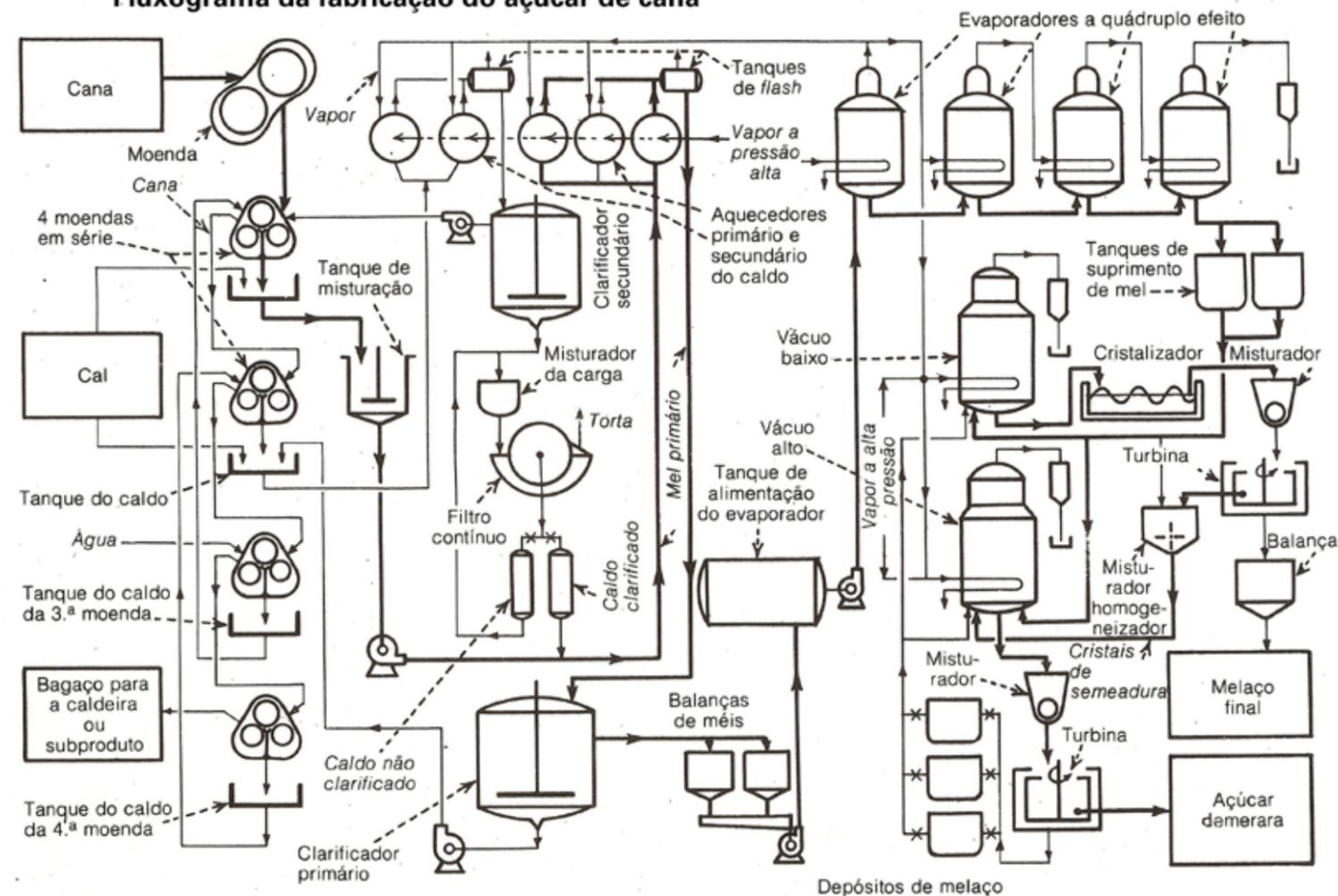
O sistema químico usa um clarificador a espuma ou um sistema a carbonatação. O licor tratado a espuma, contendo bolhas de ar injetadas, entra no clarificador a aproximadamente 65°C. No clarificador, o licor é aquecido, o

que provoca a formação de espuma, que sobe à superfície, arrastando o fosfato tricálcico gelatinoso e as impurezas. O licor clarificado é filtrado, se for preciso, ou sujeito a uma clarificação mecânica adicional, e enviado para as unidades de alveamento. Esse processo reduz a matéria corada presente em 25% a 45%, o que reduz bastante o porte dos clarificadores subsequentes.

No sistema a carbonatação, adiciona-se ao magma de açúcar dióxido de carbono proveniente de fumos de chaminé depurados, com o que se precipita o carbonato de cálcio. O precipitado arrasta mais de 60% da matéria corada presente e é posteriormente removido por filtração.

O licor efluente clarificado, livre de materiais insolúveis, ainda tem grande quantidade de impurezas dissolvidas. Essas impurezas são removidas por percolação através de filtros de carvão. A percolação é efetuada a 82°C, e o produto inicial é um xarope claro, cris-

Fluxograma da fabricação do açúcar de cana



talino como água. A experiência indica ao operador quando dirigir o efluente do filtro de carvão para um tanque de xarope de qualidade inferior.

Também se usa um processo contínuo de clarificação e alvejamento. Os xaropes (méis) dos filtros de carvão são bombeados para uma casa de méis, onde são classificados de acordo com a pureza e concentração: pureza de 99 a 99,7; de 90 a 93; de 84 a 87; e de 75 a 80.

Os méis mais escuros são tratados com carvão (de ossos, de ossos sintéticos, carvão ativo) ou resinas trocadoras, ou ainda, por uma combinação desses materiais, obtendo-se o açúcar mascavo.

No evaporador-cristalizador a vácuo, o xarope de açúcar é concentrado até determinado grau de supersaturação, quando então recebe a semente de uma quantidade determinada de açúcar fino. Esses pequenos cristais crescem até uma dimensão conveniente ao mercado, mediante uma taxa de ebulição e de evaporação apropriadamente regulada junto com a agitação e a entrada do xarope. A velocidade não deve ser muito alta, pois, se for, formam-se novos cristais (falsos grãos), que não têm tempo de crescer e se perdem na joeira da turbina.

Os xaropes mais puros são reservados para o açúcar líquido (incolor), os seguintes para o açúcar em tabletes e granulado grosso, e o restante para os fabricantes de conservas e de bebidas, para os doceiros e confeitores (açúcar mascavo).

O vácuo é descarregado em um misturador que impede a massa cozida de aglutinar-se, a qual é enviada às turbinas, onde os cristais são separados do xarope, lavados e lançados no tanque de depósito do açúcar úmido. O xarope retorna ao processo para a recuperação do açúcar.

Quando a pureza do xarope fica baixa, é usado para fabricação de melagos de mesa; as frações de pior qualidade servem de ração animal. Esse xarope é conhecido como melago ou melado.

O açúcar úmido é seco em um granulador, um tambor rotatório horizontal com um conjunto de palhetas estreitas solidárias à superfície interna. Essas palhetas suspendem o açúcar e deixam-no cair através de uma corrente de ar

quente, que flui em contracorrente.

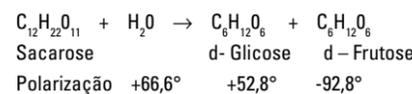
Os cristais secos passam por uma série de peneiras, onde são classificados de acordo com o tamanho.

O açúcar é então pesado e embalado mediante diversos equipamentos automáticos, ou estocado para venda a granel.

Os açúcares pulverizados são obtidos mediante a moagem do açúcar granulado, mas são tão higroscópicos que é costume misturá-los com 3% de amido de milho para ter os tipos apropriados à fabricação de doces. Os cubos e tabletes de açúcar são preparados pela mistura de determinados tipos de açúcar granulado com um xarope denso e incolor, formando uma massa úmida, que é então moldada e seca.

O rendimento do açúcar refinado obtido, com base no açúcar bruto de 96° de polarização, é usualmente de 93% a 94%; o xarope monta a 5% e as perdas mecânicas e de lavagem atingem 0,7%.

No processamento do açúcar há certa inversão, de acordo com a seguinte reação:



O produto é o açúcar invertido; a polarização da sacarose pura, que é +66,6° (+ significa dextrogira), passa a ser de -20° (- significa levogira) para a mistura resultante.

Já para a produção do açúcar de beterraba, é importante destacar que a beterraba açucareira é diferente da beterraba ordinária pelo fato de ser muito maior e não ser vermelha. As beterrabas, com 13% a 17% de sacarose e 0,8% de cinzas, entram na usina através de calhas, pequenos canais cheios com água quente, que não apenas as transportam, mas também as lavam. Dentro da fábrica, as beterrabas são relavadas, pesadas e cortadas em tiras compridas, denominadas cossettes.

As cossettes são lançadas em difusores especiais contínuos, a contracorrente. O açúcar é extraído em contracorrente com a água, entre 71,1°C e 79,4°C. O xarope resultante é uma solução com 10% a 12% de sacarose e uma pequena

quantidade de açúcar invertido, e 2% a 3% de cinza. A polpa restante contém de 0,1% a 0,3% de açúcar (com base nas beterrabas). Essa polpa é enxuta em prensas, seca em um secador rotatório e vendida como forragem para gado. A passagem da indústria de beterraba para os difusores contínuos em contracorrente e automáticos eliminou os custos de operação do xarope e reduziu a mão-de-obra necessária na bateria.

O xarope é coado grosseiramente, para remoção de materiais estranhos. Adiciona-se leite de cal (ou leite de sacarato, quando se adota o processo Steffen para remover materiais estranhos) até uma concentração equivalente a 2% a 3%. A cal contribui para a precipitação de impurezas indesejáveis. Quaisquer traços de sacarato de cálcio são decompostos em carbonatadores, por onde o dióxido de carbono, proveniente de um forno de cal, flui continuamente através do xarope. A espuma que aparece nessa etapa é reduzida pela adição de pequena quantidade de antiespumante.

O lodo provocado pela calagem é igual a 4% a 5% do peso das beterrabas da carga. Remove-se o lodo em espessadores e pela filtração em filtros do tipo Rotary. Adiciona-se novamente cal até uma concentração equivalente a 0,5%, e o xarope é carbonatado outra vez, agora a quente.

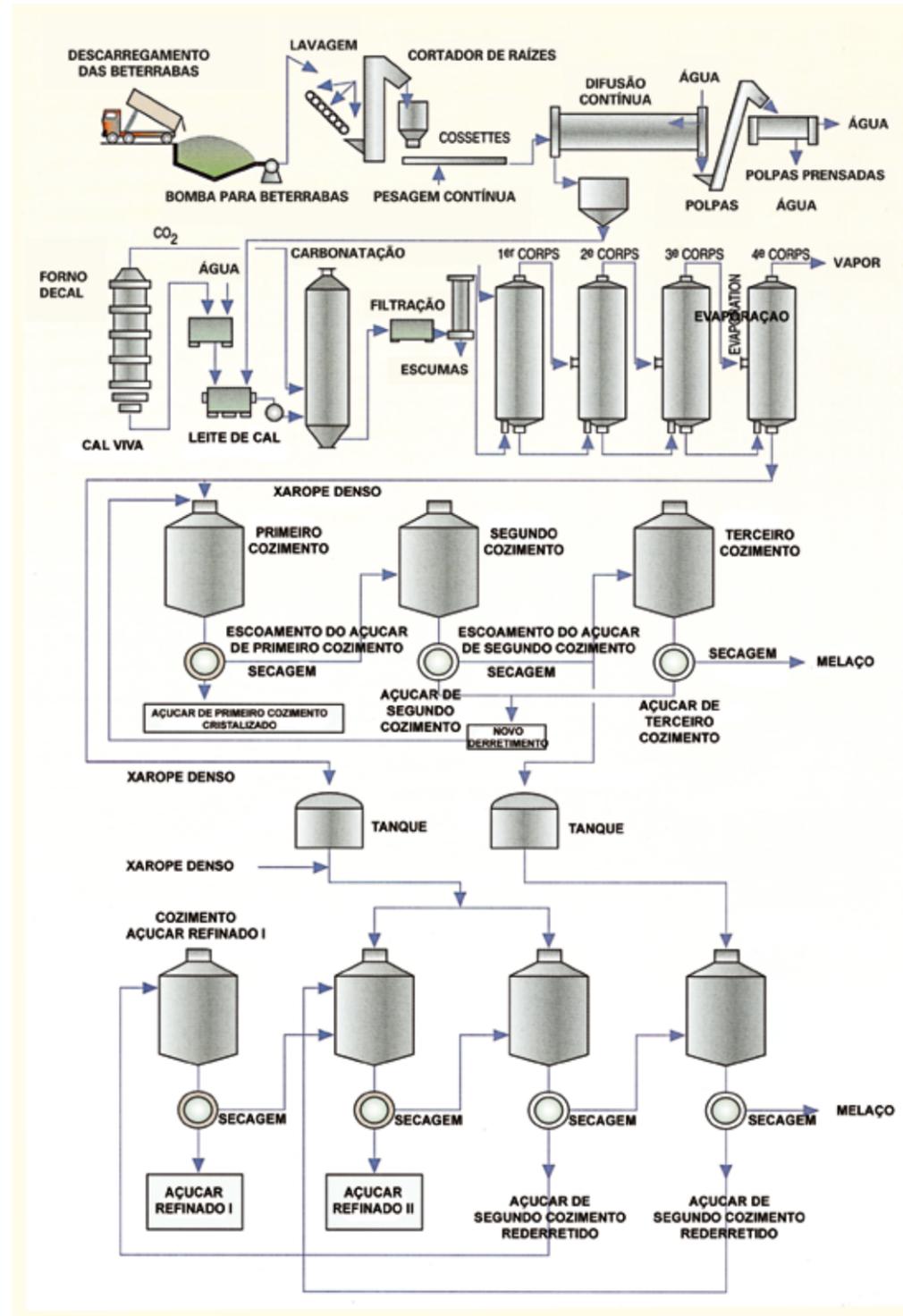
O xarope é então filtrado em filtros a pressão e o filtrado resultante é alvejado com dióxido de enxofre.

O precipitado de sulfito de cálcio é removido em filtros de pressão ou em filtros de quadros. O xarope purificado é concentrado de 10% a 12%, em açúcar, até 60%, em açúcar em evaporadores a múltiplo efeito. Com isso, aumenta novamente a concentração de íons cálcio. Parte do cálcio precipita.

A usina Spreckles também usa um sistema de descoloramento a adsorção em carvão reativado, em contracorrente, para purificar e descolorar o xarope concentrado, em torres onde o xarope ascende contra o carvão descendente (Op).

O xarope grosso é granulado em tabuleiros a vácuo, centrifugado, lavado e seco em um granulador, peneirado e embalado de maneira análoga à que foi descrita a propósito do açúcar de cana.

Fluxograma da fabricação de açúcar de beterraba



O xarope do primeiro vácuo recebe outro tratamento para recuperação de maior quantidade de cristais de açúcar, mas o produto obtido não é bastante puro para o mercado e retorna ao processo para purificação posterior.

O xarope que resta depois de várias

cristalizações é o melago de beterraba; é comercializado para a forragem de gado ou lançado ao rejeito da polpa de beterraba. É também um meio de cultura importante para fermentação, particularmente, do ácido cítrico, pois o elevado teor de nitrogênio é bastante

favorável. Foram desenvolvidos processos para a recuperação do açúcar restante, os quais são usados comercialmente. A recuperação inicial foi obtida pelo processo Steffen, usado extensamente nos Estados Unidos.

Já se experimentou, ou propôs, a troca iônica, para o tratamento dos licores do processo em diversas etapas da fabricação do açúcar. A troca iônica opera bem para a limpeza dos licores do processo, mas, no total, o tratamento é frequentemente muito caro em virtude do custo da colocação dos rejeitos das águas adoçadas e dos reagentes gastos (da lavagem). Com o açúcar de cana, por outro lado, pode haver inversão e perdas.

OS TIPOS DE AÇÚCAR

O açúcar apresenta-se no comércio sob várias formas, dependendo do processo de refinação ao qual é submetido: melado preto, açúcar marrom, açúcar comum, cristais para café, tabletes, demerara, xarope dourado, açúcar cristal, açúcar de confeitiro, melago, açúcar mascavo, açúcar para conservas, açúcar com pectina, etc. De acordo com a utilização também encontramos o xarope de glicose e a dextrose provenientes do amido.

Nas aplicações industriais, os açúcares mais usados são o açúcar cristal, o açúcar refinado, o açúcar líquido, o açúcar invertido e o açúcar glacê.

O açúcar cristal. É o açúcar obtido por fabricação direta nas usinas, a partir

da cana-de-açúcar, na forma cristalizada, após a clarificação do caldo da cana por tratamentos físico-químicos. É usado como agente de corpo e, principalmente, como adoçante na indústria alimentícia em geral, destacando-se bebidas, balas, biscoitos, chocolates, etc. O açúcar cristal possui elevada gama de aplicações industriais e menor custo de aquisição em relação aos demais tipos de açúcares. Um açúcar cristal de boa qualidade apresenta de 99,5% a 99,8% de sacarose; 0,03% a 0,10% de glicose e frutose; 0,05% a 0,10% de umidade; e 0,04% a 0,10% de sais minerais.

O açúcar refinado.

A primeira etapa do processo de fabricação do açúcar refinado consiste na dissolução em água do açúcar cristal. Essa solução é submetida a um novo processo de purificação, gerando uma calda, a qual é aquecida até um ponto estabelecido. Em seguida, é transferida para batadeiras, que a transforma em uma massa quente e úmida de açúcar. Nessa etapa, os cristais não possuem uma forma definida. Para

secar e esfriar, o açúcar é enviado para secadores com passagem de ar quente e frio. O açúcar é peneirado para separar os aglomerados e obter a uniformidade dos cristais. Da parte mais fina é extraído o açúcar de confeitiro e do restante obtém-se o açúcar refinado.

O açúcar refinado granulado. É obtido por dissolução, purificação e recristalização de açúcar cristal, apresentando estrutura formada por cristais bem definidos e granulometria uniforme. Assim, trata-se de um processo de cristalização controlada, com produtos apresentando uma granulometria homogênea, com baixa cor. Possui o mais elevado grau de pureza entre os açúcares e, por isso, é especial para processos que exijam elevada pureza. Os principais parâmetros para o açúcar refinado são 99,8% a 99,9% de sacarose; 0,01% a 0,03% de glicose e frutose; 0,04% a 0,10% de umidade; e 0,02% a

0,04% de sais minerais.

O açúcar refinado líquido. É obtido do refino de açúcar cristal dissolvido; é um adoçante natural apresentado na forma líquida em uma solução inodora, límpida e cristalina, obtido pela dissolução de açúcar em água com posterior purificação e descoloração, o que garante a esse produto alta transparência e limpidez com água decolorada. É um produto claro, límpido, isento de odor e aroma; apresenta uma concentração de 65% a 68% de sólidos. Especial para processos que exijam elevada pureza. É o adoçante mais prático para a maioria



das aplicações industriais alimentícias, como sorvetes, massas, bebidas, sucos, panificadoras, indústrias farmacêuticas ou em processos químicos onde se utiliza sacarose (detergentes, tintas, plásticos, colas, etc.).

Bastante aplicado onde a ausência de cor é um fator essencial, é o produto ideal para a substituição de açúcares sólidos em processos onde exista diluição ou acréscimo de água em alguma fase. O açúcar líquido apresenta algumas vantagens operacionais significativas: é de fácil utilização e garante sempre um padrão superior e uniformidade na produção de xaropes e caldas; evita processos dispendiosos de diluição, armazenagem e transporte de açúcares sólidos e garante a isenção total de cristais no produto final; não interfere na produção com problemas como insetos e pontos pretos; elimina a possibilidade de perdas e facilita as condições de estocagem; reduz o consumo de água; reduz ou mi-

nimiza a produção de dejetos industriais provenientes dos processos de filtração e desodorização do xarope ou calda; devido à sua característica de consumo *just-in-time* proporciona ganhos pela redução de estocagem de matéria-prima; permite com facilidade que se alcance alto grau de automatização da linha de produção; reduz custos de energia utilizados nos processos de diluição e filtração; confere alto grau de flexibilidade no planejamento da produção; em fábricas novas ou ampliações permite redução de investimentos em ativos fixos por dispensar armazenagem de açúcar sólido e instalações para xaroparia; e favorece a implantação de BPF e APPCC.

Os principais parâmetros para o açúcar refinado líquido são 65% a 68% de sacarose; 0,10% a 0,40% de glicose e frutose; 32% a 35% de umidade; e 0,05% a 0,10% de sais minerais.

O açúcar líquido invertido. O açúcar invertido, na verdade, é um xarope feito a partir do açúcar comum, a sacarose, submetido ao aquecimento na presença de alguma

substância ácida (por exemplo, suco de limão ou ácido acético, que é um ácido presente em diversas frutas e no vinagre). Essa hidrólise ácida provoca a quebra da sacarose em dois açúcares que formam a sua molécula: glicose e frutose. É uma solução límpida e ligeiramente amarelada, com odor e sabor característico e com alto poder adoçante. A presença de açúcares redutores pode originar soluções com maior poder adoçante, maior concentração de sólidos e baixa atividade de água.

O termo “açúcar invertido” decorre de uma característica física da sacarose, que se altera nesse processo; originalmente, um raio de luz polarizada que incide sobre a sacarose gira para a direita. Após o processamento descrito, a luz desvia para a esquerda.

As vantagens operacionais são similares aquelas do açúcar refinado líquido.

É bastante empregado em indústrias alimentícias onde a coloração não inter-

fere na qualidade do produto final, como panificação, geléias, sorvetes, laticínios, frutas cristalizadas, bebidas carbonatadas, sucos, recheios, licores, biscoitos, balas, caramelos, etc. Seus benefícios, do ponto de vista técnico e aplicações são muitos. Os principais são:

É um adoçante natural que pode apresentar um poder adoçante de até 20% maior que a sacarose, destacando-se o uso em bebidas carbonatadas, sucos e isotônicos;

Aumenta a higroscopicidade dos alimentos, prolongando o *shelf life* de bolos e pães. De modo geral, em produtos com baixo teor de gordura, sua utilização evita que esses comecem a secar e quebrar. Possui alta afinidade com a água (umectância). Pode ser utilizado para substituir o glicerol, geralmente utilizado como umectante em bolos, podendo-se perceber melhora no poder adoçante, no sabor para produtos de frutas e no acréscimo de cor e sabor durante o cozimento.

É um modificador de textura. Devido a sua alta solubilidade e sua capacidade de baixar o ponto de congelamento, melhora a textura de sorvetes e sobremesas geladas. Assim, pode ser utilizado como inibidor de cristalização, garantindo que produtos, como sorvetes, fondants, e outros, continuem macios e suaves durante a validade. Pode ser utilizado durante o cozimento de geléias (também como inibidor de cristalização).

É um conservante natural. Exerce maior pressão osmótica, permeando mais rapidamente as membranas dos alimentos, destacando-se frutas e geléias.

Nos processos fermentativos pode ser utilizado como substrato, pois apresenta baixos teores de inibidores de fermentação.

É um agente de escurecimento. Em altas temperaturas, reage com as substâncias nitrogenadas da farinha de trigo conferindo *flavour* e coloração diferenciada em pães e biscoitos (Reação de Maillard); é também um efeito desejável na fabricação de balas e caramelos.

É um acentuador de sabor. Em sucos e geléias, a presença de frutose no açúcar invertido acentua o sabor natural das frutas; realça também o sabor das frutas em refrigerantes, bolos e confeitos.

Possui baixa viscosidade, conferindo plasticidade a sorvetes, cremes e fondants.

Possui textura suave, ideal para alguns produtos, como pães de hambúrguer, panquecas, licores, bolos, etc.

Os principais parâmetros para o açúcar invertido líquido são 76% a 78% de sacarose; 60% a 70% de glicose e frutose; 22% a 24% de umidade; e 0,10% a 0,30% de sais minerais.

O açúcar glacê. Também conhecido como açúcar de confeitiro e açúcar acopalpável, o açúcar glacê se apresenta na forma de pó, constituído exclusivamente de sacarose e obtido em uma das fases da produção do açúcar refinado, caracterizando-se por sua fina granulometria. Geralmente é misturado a amido de milho para evitar que se formem grumos. Bastante utilizado em indústrias alimentícias no polvilhamento e na produção de massas, pães e bolos, pois não é absorvido pela umidade contida na receita.

AS MÚLTIPLAS APLICAÇÕES DO AÇÚCAR

O açúcar é o adoçante mais versátil de todos os que estão disponíveis. Seu uso é comum em uma variedade de alimentos muito grande, devido a seus muitos atributos, que não podem ser duplicados por nenhum outro ingrediente.

Produtos assados. A função principal do açúcar nos produtos assados é agir como substrato ou meio para a fermentação do levedo. O gás liberado pela fermentação (dióxido de carbono) é responsável pelo crescimento do produto. O açúcar libera dióxido de carbono mais rápido do que o amido. O açúcar é consumido pelo levedo e os produtos da fermentação contribuem para o sabor, volume, aroma e cor do produto final. O açúcar ajuda na retenção da umidade dos produtos assados, retardando seu envelhecimento e estendendo sua vida de prateleira.

Em alguns produtos assados, açúcares marrons ou melados são usados para dar cor e sabor mais atraentes. Em pães, bolos e bolachas, tanto a cor

clara quanto o tamanho dos cristais são importantes. Variar o tamanho do cristal pode levar a produção de bolachas e bolos disformes. Isso é particularmente difícil quando o tamanho uniforme é exigido para o empacotamento.

Merengues. Em merengues e pães-de-ló, o açúcar fortalece a liga protéica e estabiliza a clara de ovo batida. Quando o açúcar é introduzido nas claras de ovos, proporciona uma força adesiva à proteína e, assim, possibilita que a mistura retenha uma porção grande de ar. A forma em que o açúcar é introduzido nas claras de ovos afeta o volume do produto.

A mistura do merengue em sua preparação, aquecimento e embalagem final são muito suscetíveis à umidade; cuidado deve ser tomado para combater sua influência.

Há vários métodos para se fazer merengue. Um dos que se tem menos sucesso se dá através da simples introdução do açúcar à clara do ovo. Esse método pode produzir ótimos resultados em um dia seco, mas não funcionará em um dia úmido ou em uma cozinha com vapor. Para resultados consistentes, às claras devem ser batidas até endurecerem, em uma tigela seca e limpa. Meta-de do açúcar deve ser adicionado para dar força à mistura. O resto do açúcar é então acrescentado lentamente para completar o preparo.

Bolinhos. Na confecção de bolinhos, o açúcar granulado é usado para incorporar ar à gordura durante a preparação do creme, para produzir bolinhos leves. Quando o açúcar é batido com a manteiga ou margarina, o ar é aprisionado nos cristais de açúcar cobertos pela gordura, produzindo uma textura leve no produto final. Quando o açúcar e a farinha estão presentes na mistura, o açúcar dissipa as moléculas de proteína do glúten da farinha. Mantendo o glúten macio, o açúcar permite que ele cresça mais, dando volume e leveza à mistura.

Bolachas. Nas bolachas, o açúcar contribui com a doçura, crespidão e cor no produto final. Produz grãos mais lisos, tornando a massa mais fácil de espalhar.

Condimentos. Uma pequena porção de açúcar pode ser usada para realçar o sabor desejado em um produto, sem adicionar doçura. Por exemplo, uma pitada de açúcar modifica a acidez de ingredientes e ajuda a misturar o sabor de condimentos, como mostarda, molhos e temperos para saladas. Uma colher de chá de açúcar caramelizado em molhos quentes ou caldos de carne não só dá uma cor marrom rica como também melhora o sabor.

Confeitaria. A presença do açúcar na confeitaria é essencial ao sabor, textura e aparência dos alimentos. A confeitaria é largamente baseada na manipulação do açúcar para atingir efeitos de texturas especiais. Fatores que controlam a textura dos confeitados incluem o grau de cristalização da sacarose, a razão da sacarose e da umidade e a quantidade e tamanho dos cristais de sacarose.

Quando o açúcar é fervido, sofre muitos estágios até se tornar caramelo. O açúcar, que pode ser de cobertura, granulado ou em cubos, é dissolvido em uma pequena quantidade de água. Essa solução é então fervida rapidamente até que bolhas sejam produzidas, bem próximas umas das outras. Esse evento indica que a evaporação da água está completa. Deve-se tomar cuidado quando o açúcar começa a cozinhar, tornando-se grosso e rapidamente chega a uma cor caramelo escuro. Nesse estágio, a mistura queima rapidamente e se torna amarga, assim o açúcar perde seu poder adoçante.

Diferenças na textura são muito importantes na qualidade do confeito. A cristalização do açúcar é considerada indesejável em doces lisos e duros, e ainda é essencial para a textura do doce de chocolate cremoso. Em adição a essa contribuição da textura e doçura, o açúcar também age como preservativo, realça o sabor do chocolate e nozes, ajuda no desenvolvimento da cor e sabor e ajuda a manter as gorduras e óleos unidos para formar uma mistura estável que não se separará.

Quando o açúcar marrom é usado para substituir açúcar branco, um sa-

bor característico pode se desenvolver, sendo adequado para uma variedade de produtos de confeitaria.

Produtos de laticínios. O açúcar contribui para o sabor de produtos de laticínios, tais como iogurte, sorvete e leite com sabores. Colabora no desenvolvimento das texturas cremosas de sorvete e de doces de creme. Um conteúdo elevado de açúcar em sorvetes abaixa o ponto de congelamento, produzindo um produto mais liso.



Em creme de ovos, o açúcar ajuda a retardar a coagulação da proteína dos ovos. Esse fator evita que o creme “quebre” durante o cozimento, formando uma textura mais firme, fina e lisa.

Frutas. O açúcar age como preservativo em frutas enlatadas, evitando o crescimento de bolores e leveduras. Também auxilia na manutenção da firmeza da fruta e na proteção da fruta contra o ressecamento, uma vez que a lata é aberta. A adição de açúcar às frutas enlatadas é considerada um dos métodos mais antigos para se minimizar a oxidação. O xarope de açúcar cobre a fruta e fisicamente a protege de ressecar e de escurecer.

O açúcar também é usado como preservativo na fabricação de compotas.

Ligando-se à água disponível, o açúcar previne contra o crescimento de bactérias prejudiciais. Para representar esse papel e como um auxílio na montagem e formação do gel, o açúcar deve estar a uma alta concentração em compotas e geléias.

No congelamento de frutas e vegetais, é muito importante retardar ou desativar as enzimas presentes. Isso é necessário porque a temperatura dos freezers caseiros não é baixa o suficiente para desativá-las. No caso de vegetais, essas enzimas são destruídas pelo alvejamento, mas esse método não é praticado, nem necessário com frutas. A adição de açúcar às frutas sendo preparadas para o congelamento retardará a ação das enzimas.

O açúcar pode ser usado de duas formas para o congelamento, tanto como um xarope como em seu estado natural seco. Se frutas macias ou frutas silvestres são congeladas sem açúcar, o líquido presente vira gelo, o que quebra a estrutura da fruta, fazendo com que ela desintegre quando degelada. Se tais frutas são congeladas com o xarope de açúcar, o xarope penetra na fruta e evita que partículas de gelo se formem.

Vegetais. Uma pequena porção de açúcar normalmente é adicionada aos vegetais em processamento, onde age como intensificador do sabor e não como adoçante, melhorando o corpo e a textura do produto final. Tomates e molhos à base de tomates são menos ácidos se uma pitada de açúcar for adicionada, melhorando assim o paladar.

Carnes. O uso de açúcar na indústria da carne é pequeno, mas tem papel fundamental como agente aromatizante no processo da carne curada (presuntos, bacon, salsichas e salames).

O açúcar auxilia na estabilização da cor vermelha nas carnes curadas, reduzindo a perda do encolhimento durante a defumação e cozimento, e ajuda a manter o produto úmido e succulento.

A cobertura de açúcar em carnes assadas, como presunto assado, costelas e patos, ajuda a reter a umidade na superfície e evita que seque.

LUBRIPATE