



Tecnologia da Fabricação do Açúcar

Simone Silva Machado



**Inhumas - GO
2012**

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

© Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Este caderno foi elaborado em parceria entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/IFG-Inhumas e a Universidade Federal de Santa Maria para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – Rede e-Tec Brasil.

Equipe de Elaboração – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/IFG-Inhumas

Reitor

Paulo César Pereira/IFG-Inhumas

Direção Geral

Cleiton José da Silva/IFG-Inhumas

Coordenação Institucional

Daniel Aldo Soares/IFG-Inhumas

Coordenação de Curso

Rodrigo Cândido Borges/IFG-Inhumas

Professor-autor

Simone Silva Machado/IFG-Inhumas

Equipe Técnica

Renata Luiza da Costa/IFG-Inhumas

Shirley Carmem da Silva/IFG-Inhumas

Viviane Margarida Gomes/IFG-Inhumas

**Comissão de Acompanhamento e Validação
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria/CTISM**

Coordenação Institucional

Paulo Roberto Colusso/CTISM

Coordenação Técnica

Iza Neuza Teixeira Bohrer/CTISM

Coordenação de Design

Erika Goellner/CTISM

Revisão Pedagógica

Andressa Rosemárie de Menezes Costa/CTISM

Francine Netto Martins Tadielo/CTISM

Marcia Migliore Freo/CTISM

Revisão Textual

Eduardo Lehnhart Vargas/CTISM

Lourdes Maria Grotto de Moura/CTISM

Vera Maria Oliveira/CTISM

Revisão Técnica

Maria Isabel Aude/UFSM

Ilustração

Cássio Fernandes Lemos/CTISM

Marcel Santos Jacques/CTISM

Rafael Cavalli Viapiana/CTISM

Ricardo Antunes Machado/CTISM

Diagramação

Gabriel La Rocca Cóser/CTISM

Leandro Felipe Aguiar Freitas/CTISM

Ficha catalográfica elaborada por Maria Aparecida Rodrigues de Souza CRB 1/1497 e Maria Aparecida Castro CRB 1/2599 – bibliotecárias – IFG Campus Inhumas

Machado, Simone Silva
M149t **Tecnologia da Fabricação do Açúcar / Simone Silva Machado.**
– – Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa
Maria, 2012.
56 p. : il.
Bibliografia.

Caderno elaborado em parceria entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/IFG-Inhumas e a Universidade Federal de Santa Maria para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec Brasil.

1. Cana-de-açúcar – Processamento. 2. Indústria açucareira.
2. Indústria sucroalcooleira. I. Título.

CDD 628.746

Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,

Bem-vindo ao e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional pública de ensino, a Escola Técnica Aberta do Brasil, instituída pelo Decreto nº 6.301, de 12 de dezembro 2007, com o objetivo de democratizar o acesso ao ensino técnico público, na modalidade a distância. O programa é resultado de uma parceria entre o Ministério da Educação, por meio das Secretarias de Educação a Distância (SEED) e de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade e ao promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes dos grandes centros geograficamente ou economicamente.

O e-Tec Brasil leva os cursos técnicos a locais distantes das instituições de ensino e para a periferia das grandes cidades, incentivando os jovens a concluir o ensino médio. Os cursos são ofertados pelas instituições públicas de ensino, e o atendimento ao estudante é realizado em escolas-polo integrantes das redes públicas municipais e estaduais.

O Ministério da Educação, as instituições públicas de ensino técnico, seus servidores técnicos e professores acreditam que uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação
Janeiro de 2010

Nosso contato
etecbrasil@mec.gov.br



Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



Atenção: indica pontos de maior relevância no texto.



Saiba mais: oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



Glossário: indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



Mídias integradas: sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



Atividades de aprendizagem: apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



Sumário

Palavra do professor-autor	9
Apresentação da disciplina	11
Projeto instrucional	13
Aula 1 – Introdução à indústria açucareira	15
1.1 O mercado do açúcar.....	15
1.2 A cadeia produtiva do açúcar.....	17
1.3 Tipos de açúcar.....	20
Aula 2 – Produção de açúcar	27
2.1 A cana-de-açúcar como matéria-prima.....	27
2.2 Processo de produção.....	28
2.3 Etapas do processo.....	28
Aula 3 – Operações de evaporação e cristalização	37
3.1 Processo produtivo.....	37
3.2 Evaporação.....	37
3.3 Cristalização.....	40
Aula 4 – Balanço de massa	43
4.1 Fundamentos do balanço de massa.....	43
4.2 Balanço de massa de açúcares redutores.....	44
Aula 5 – Parâmetros de qualidade	49
5.1 Qualidade do açúcar.....	49
5.2 Características físico-químicas.....	49
5.3 Características microbiológicas.....	51
5.4 Características microscópicas.....	52
5.5 Características sensoriais.....	52
Referências	54
Currículo do professor-autor	55



Palavra do professor-autor

Com a competitividade e a busca de aperfeiçoamento dos processos que requerem uma maior eficiência e qualidade do trabalho desenvolvido, as indústrias sucroalcooleiras esperam contar com profissionais com uma formação multidisciplinar e polivalente, para realizar tarefas variadas e multiqualificadas e conseqüente desenvolvimento de um maior conhecimento e domínio sobre o conjunto do processo produtivo, em que consolide a formação em aspectos de segurança, meio ambiente, qualidade, técnicas analíticas e gerenciamento da produção.

Isto pressupõe que os trabalhadores sejam capazes de identificar os problemas e solucionar as condições existentes, analisando os dados disponíveis, tendo em vista a busca de soluções; saber transferir e usar conhecimentos e experiências em diferentes oportunidades e situações; saber manipular instrumentos básicos, saber trabalhar em equipe, o que pressupõe hábitos de organização pessoal e habilidades de comunicação.

Assim, o objetivo principal desta disciplina é oportunizar aos estudantes conhecimentos sobre os fundamentos das operações unitárias envolvidas na produção do açúcar. Esse conhecimento fará parte do seu dia-a-dia como profissional e o auxiliará nas funções relacionadas à operação do processo e seus controles, buscando-se qualidade e produtividade.

Para atingir esse objetivo, é necessário, que você, querido aluno, se integre com as mídias propostas para a disciplina e, sobretudo, que participe, que estude o conteúdo com motivação e procure esclarecer suas dúvidas, sempre que necessário.

Acreditamos na sua capacidade de crescimento pessoal e profissional e trabalhamos para que esta disciplina desempenhe um importante papel neste sentido.

Parabéns pela trajetória até aqui e bom trabalho!

Simone Silva Machado



Apresentação da disciplina

A disciplina Tecnologia da Fabricação do Açúcar visa desenvolver no aluno competências para a caracterização dos processos físico-químicos e as operações unitárias presentes nas etapas de produção de açúcar.

Pretende-se transmitir aos alunos os conceitos relacionados ao funcionamento destas operações de forma a permitir a utilização dos princípios que regem a boa operação dos equipamentos, bem como seus pontos de controle e otimização do processo.

A disciplina propõe capacitar os futuros profissionais Técnicos em Açúcar e Álcool para o mercado competitivo, para atuar como no processo produtivo de açúcar, com enfoque na qualidade do produto e na redução de perdas.

Assim, os conteúdos disciplinares propostos pretendem a formação de um técnico, que compreende os métodos e técnicas para uma produção segura e de qualidade.

A disciplina Tecnologia da Fabricação de Açúcar, do Curso Técnico em Açúcar e Álcool, faz parte da grade de disciplinas do Módulo IV, tendo carga horária de 90 horas aula.

O modelo didático de oferta da disciplina é por módulo e cada aula apresenta o conteúdo proposto com indicações de mídias e inserções no próprio texto de material que agregará mais conhecimento dentro do assunto e auxiliará no processo ensino-aprendizagem.

O Glossário deve ser utilizado pelo aluno no decorrer dos estudos para um melhor entendimento do conteúdo.



Projeto instrucional

Disciplina: Tecnologia da Fabricação do Açúcar (carga horária: 90h).

Ementa: Introdução à indústria açucareira. Produção de açúcar. Operações de evaporação e cristalização. Balanço de massa. Parâmetros de qualidade.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Introdução à indústria açucareira	Conhecer os aspectos mais importantes da indústria açucareira no Brasil. Reconhecer os tipos de açúcar produzidos pela indústria açucareira.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	05
2. Produção de açúcar	Reconhecer a importância da qualidade da matéria-prima para a produção de açúcar. Compreender as etapas do processamento de açúcar. Reconhecer as principais características de cada etapa do processo.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	25
3. Operações de evaporação e cristalização	Compreender os princípios e objetivos das operações de evaporação e cristalização. Conhecer o funcionamento das etapas de evaporação e cristalização.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	25
4. Balanço de massa	Conhecer os fundamentos de balanço de massa. Compreender o balanço de massa do processo de obtenção de açúcar.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	20
5. Parâmetros de qualidade	Identificar as características de qualidade necessárias ao açúcar.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	15

Aula 1 – Introdução à indústria açucareira

Objetivos

Conhecer os aspectos mais importantes da indústria açucareira no Brasil.

Reconhecer os tipos de açúcar produzidos pela indústria açucareira.

1.1 O mercado do açúcar

O principal mercado do setor sucroalcooleiro é a produção de açúcar. Em 1991, no Brasil foram produzidas 7,365 milhões de toneladas de açúcar e em 2009, 31,049 milhões de toneladas (Tabela 1.1).

Quando se aborda a cadeia produtiva de açúcar no Brasil, verifica-se que o estado de São Paulo concentra 53% das unidades de indústrias de processamento de cana, com 63% da produção de açúcar.

Tabela 1.1: Produção de açúcar nos estados brasileiros, em toneladas, safras 1991/2009

Estados/regiões	1991	2009	Participação na produção total em 1991	Participação na produção total em 2009
São Paulo	3.471.138	19.662.436	47,1%	63,3%
Paraná	221.113	2.459.512	3,0%	7,9%
Minas Gerais	413.196	2.207.621	5,6%	7,1%
Alagoas	1.234.894	2.200.862	16,8%	7,1%
Pernambuco	1.193.512	1.521.275	16,2%	4,9%
Goiás	42.095	958.419	0,6%	3,1%
Mato Grosso do Sul	20.125	657.078	0,3%	2,1%
Mato Grosso	23.200	478.424	0,3%	1,5%
Rio de Janeiro	280.970	241.005	3,8%	0,8%
Rio Grande do Norte	92.476	197.914	1,3%	0,6%
Paraíba	89.935	133.883	1,2%	0,4%
Espírito Santo	8.261	85.324	0,1%	0,3%
Sergipe	102.520	82.099	1,4%	0,3%

Estados/regiões	1991	2009	Participação na produção total em 1991	Participação na produção total em 2009
Bahia	80.256	81.177	1,1%	0,3%
Piauí	0	38.796	0,0%	0,1%
Maranhão	25.082	15.335	0,3%	0,0%
Amazonas	0	14.320	0,0%	0,0%
Pará	2.500	13.726	0,0%	0,0%
Região centro-sul	4.508.828	26.749.819	61,2%	86,2%
Região norte-nordeste	2.856.517	4.299.387	38,8%	13,8%
Brasil	7.365.344	31.049.206	100,0%	100,0%

Fonte: UNICA, 2010

Outros estados que no passado foram tradicionais na produção de açúcar perderam importância relativa, como o Rio de Janeiro que reduziu sua produção entre 1991 e 2009, caindo de 3,8% para 0,8% sua participação no contexto nacional da oferta de açúcar.

Sem grandes impactos na produção nacional, porém com alguma expansão, surgem os estados do Espírito Santo, Piauí, Amazonas e Pará que elevaram sua oferta física de açúcar.

Porém, o destaque na reorganização da oferta se deu nos estados do centro-oeste. Em 1991, os estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso ofertaram juntos apenas 1,2% do açúcar brasileiro, com 85,420 mil toneladas. Em 2009, a sua participação relativa havia alcançado 6,7%, com 2,093 milhões de toneladas. O estado de Goiás apresentou a maior expansão, saindo de 0,6% em 1991 para 3,1% na produção de açúcar em 2009. Em Mato Grosso do Sul a produção cresceu de 0,3% em 1991 para 2,1% em 2009.

Dos 31,049 milhões de toneladas de açúcar, o mercado nacional consome 11,076 milhões de toneladas, o equivalente a 37% da oferta. O grande centro consumidor é o centro-sul, que concentra a parte da população e da capacidade de consumo, com destaque para os estados das regiões sul e sudeste.

O excedente produzido e não consumido na economia doméstica encontra um mercado global estabelecido e disposto a adquirir a produção brasileira. Em 2008, foram exportados 19,472 milhões de toneladas de açúcar, com uma receita bruta de R\$10.088,0 bilhões, com destino a 63 parceiros comerciais do Brasil, como a Rússia, a Nigéria e a Arábia Saudita, respectivamente os maiores importadores do açúcar brasileiro.

1.2 A cadeia produtiva do açúcar

O processo de fabricação de açúcar visa, de forma resumida, à **extração** do caldo contido na cana, seu preparo e “concentração”, culminando com os vários tipos de açúcares conhecidos, como: demerara, mascavo, cristal, refinado, líquido, VHP, etc.

Dentro desse processo de fabricação, podemos classificar uma usina de açúcar como uma indústria de extração, uma vez que o açúcar já é produzido pela natureza, através da cana, sendo somente concentrado no processo, nas suas várias modalidades.

A produção está inserida em área agrícola e industrial, estando sujeita às condições ambientais, em primeiro lugar, que influenciam de forma dramática a qualidade da matéria-prima, provocando ampla variação de seus parâmetros técnicos e de fornecimento. Em segundo lugar, a produção apresenta elevado grau de complexidade, pois envolve equipamentos dos mais variados tipos e tamanhos, geração de energia e processos químicos e físicos.

Esse ambiente, somado à variação do mercado, exige dos profissionais constantes ações de interferência no processo que, não tendo o conhecimento rápido e preciso do seu efeito nos produtos finais, incorrem em subaproveitamento de equipamentos, perda de eficiência e subfaturamento.

Neste elo de fabricação, destacam-se o açúcar destinado diretamente ao consumo humano, como também direcionado ao setor da indústria alimentícia. A menor parcela do açúcar brasileiro é destinada ao mercado interno (37%), distribuído para as indústrias de atacado e varejo. No caso do mercado externo, o açúcar é exportado tipo *Very High Polarization* (VHP), que é utilizado como insumo no processo de refinação. O mercado de açúcar atende ao comércio atacadista que, por conseguinte, distribuirá o produto para o comércio varejista e indústria de alimentos que, por fim, destinará o produto ao consumidor final.

As empresas do setor agroindustrial brasileiro vêm se deparando com uma nova realidade do mercado, no qual as exigências por menores custos, diferenciação de produtos, confiabilidade e redução dos prazos de entrega, melhoria no controle de qualidade e da flexibilidade para a diversificação produtiva, têm propiciado a implementação de mudanças provenientes da necessidade da inovação tecnológica e organizacional.

A-Z

extração

Porcentagem em pol extraído da cana.



Caldo rico ou primário é

o caldo de cana extraído no primeiro terno da moenda no qual estava contido na cana-de-açúcar.

Caldo pobre ou secundário

é o caldo de cana extraída no segundo terno da moenda, que sofreu embebição desde o último terno. É mais diluído do que o caldo rico, pois está contida a água de embebição.

Caldo misto é a mistura do caldo rico e do caldo pobre (caldo do primeiro e do segundo terno), contendo o caldo que veio da cana e a água de embebição.

Caldo sulfitado é o caldo que passou pelo processo de sulfitação. Contém dióxido de enxofre para redução de cor e eliminação de colóides.

Caldo caleado é o caldo que passou pelo processo de alcalinização (caleação) para neutralizar o pH do caldo, após a sulfitação.

Essas mudanças estão promovendo toda uma reestruturação na rede de suprimentos industriais, evidenciando a crescente integração das empresas pertencentes à mesma cadeia produtiva.

A relação entre o setor industrial sucroalcooleiro e seus clientes da indústria de alimentos processados é um exemplo concreto das atuais transformações que visam a criação de vantagens competitivas e o aumento da capacitação produtiva e logística das empresas.

A princípio, essas empresas eram relativamente independentes umas das outras, não possuíam diversidade de produtos e estavam restritas à regulamentação de preços, porém com a abertura da economia e a desregulamentação produtiva, passaram a empreender iniciativas para constituição de um sistema mais integrado, com nova dinâmica de relacionamento com seus clientes industriais.

A tendência à integração das empresas, como tem ocorrido com as indústrias do setor sucroalcooleiro e as indústrias de alimentos, responde à necessidade das usinas fortalecerem seu posicionamento junto ao mercado industrial. Este movimento mostra que o fluxo tecnológico na conformação dos produtos deve buscar eficiência e produtividade em seus processos produtivos e logísticos.

O conceito de cadeia de suprimento, conjunto de empresas através do qual as matérias-primas são convertidas em produtos acabados e o valor é adicionado aos olhos dos clientes, prevê também o fluxo eficiente e economicamente eficaz de matérias primas entre as empresas.

Daí o conceito de rede industrial onde as empresas são organizadas com metas de fortalecimento de seu posicionamento competitivo.

A cadeia de suprimento inicia-se anterior à usina, desde o plantio da cana-de-açúcar até a sua colheita que serve de insumo para a produção do açúcar que segue nos canais logísticos.

Com a crise do setor sucroalcooleiro da década de noventa, algumas usinas estabeleceram alianças com multinacionais para diferenciar seus produtos. Outras usinas realizaram investimentos próprios e passaram a suprir o mercado industrial com os açúcares diferenciados (líquido e líquido invertido).

A Figura 1.1 mostra o sistema de fornecimento do açúcar aos mercados externo e doméstico.

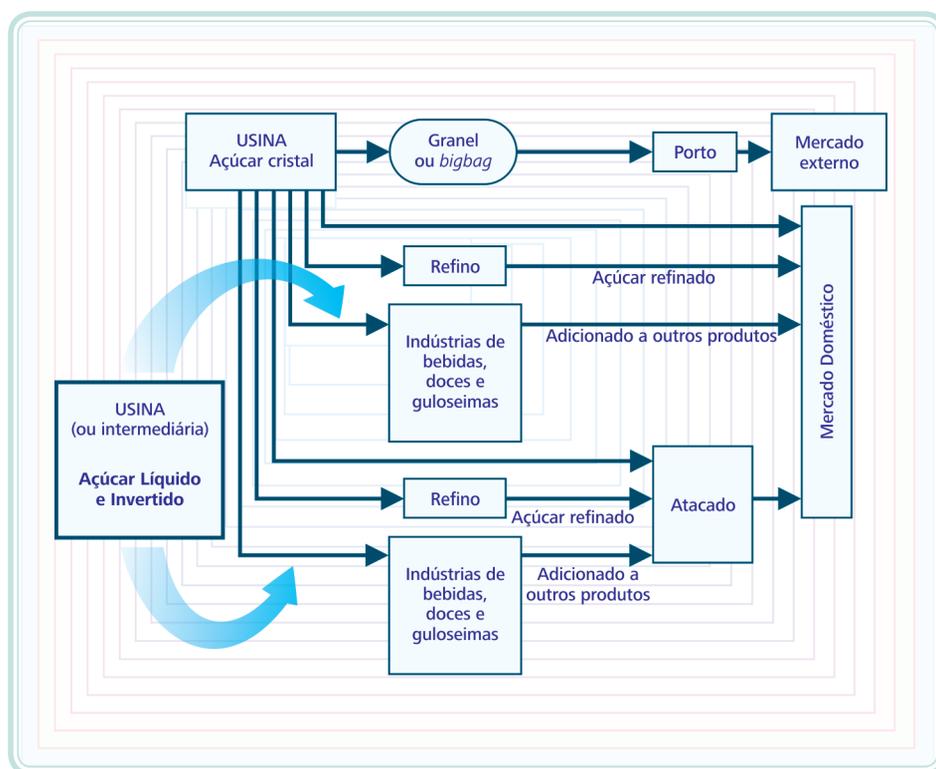


Figura 1.1: Canais logísticos para a movimentação de açúcar a partir da usina

Fonte: Bianchini; Assumpção, 2002

As usinas açucareiras investem em etapas produtivas complementares, existentes para diferenciação do açúcar em: líquido e invertido. Suas estratégias de diversificação visam o aumento de seus ganhos e a manutenção de seu crescimento de longo prazo. Dentre estas estratégias citam-se:

- Diversificação produtiva através da diferenciação do açúcar, iniciando a produção do açúcar líquido e do açúcar líquido invertido, proporcionando uma maior agregação de valor ao produto da usina.
- Melhoria da qualidade da cana esmagada, revertendo na melhoria do açúcar.
- Busca de novos mercados, principalmente de consumidores diretos, com a produção de açúcares dietéticos e *light*. Produção de açúcar orgânico.
- Aproveitamento dos subprodutos de seu processo produtivo, como por exemplo, o bagaço que é utilizado como combustível nas caldeiras que alimentam o processo e que, na época de pico da colheita, as usinas

A-Z

torta de filtro

É a mistura do lodo com bagacinho de cana que saíram do processo de filtragem. A sacarose contida na torta é dada como perda, pois não será mais processada. A torta é devolvida para a lavoura como fertilizante.

A-Z

mel

É o licor-mãe separado dos cristais de açúcar através da centrifugação. O mel é classificado de acordo com o tipo de massa cozida (mel rico para massa de primeira, mel pobre para massa de segunda e mel final para massa de terceira).

leite de cal

É a mistura da cal virgem com água, utilizado para neutralização do caldo ou do xarope.

sacarose

É o açúcar contido nos vegetais, encontrado em maior volume na cana-de-açúcar ou na beterraba. A sacarose é um dissacarídeo produzido pela condensação de glicose e frutose, e sua fórmula química é $C_{12}H_{22}O_{11}$ (peso molecular 342,30). Pode ser determinada por meio de um sacarímetro, utilizando métodos analíticos ou pela polarização direta.

transformam o calor gerado em energia elétrica, utilizando o necessário no processo e vendendo o excedente às concessionárias de energia para a co-geração de energia elétrica. Aproveitamento da **torta de filtro**, da vinhaça e do melaço, também subprodutos.

1.3 Tipos de açúcar

No Brasil, os dois tipos de açúcar mais fabricados em escala industrial são o açúcar cristal branco e o açúcar demerara.

O açúcar cristal branco caracteriza-se por ser um açúcar de alta polarização (99,3°S a 99,9°S). O processo utilizado na sua produção utiliza um sistema de clarificação mais eficiente do que o empregado para a produção do açúcar demerara.

A polarização é a porcentagem em massa da sacarose aparente contida em uma solução açucarada, determinada pelo desvio da luz polarizada ao atravessar esta solução. As rotações na escala são designadas como graus sacarimétricos (°S) ou desvio polarimétrico $[\alpha]_D^{20}$. De acordo com a *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis* (ICUMSA), uma solução normal de sacarose quimicamente pura corresponde a 100°S, sendo a base de calibração do sacarímetro. 100°S correspondem a um desvio polarimétrico de $(34,620 \pm 0,002)^\circ\text{C}$, a 20°C, no $\lambda = 589,2$ nm (lâmpada de sódio).

O açúcar demerara se caracteriza por apresentar cristais envoltos por uma película aderente de **mel**, o que lhe confere uma menor polarização (96,5°S a 98,5°S).

A diferença básica entre os dois processos situa-se na fase de clarificação do caldo. Para o açúcar demerara, a clarificação é realizada empregando-se apenas **leite de cal**, enquanto que para o açúcar cristal branco, são empregados leite de cal e anidrido sulfuroso. O anidrido sulfuroso é obtido por meio da combustão de enxofre mineral.

Além do açúcar cristal branco e o demerara vários tipos de açúcar são encontrados no mercado, tanto na forma sólida como na forma líquida.

O açúcar sólido é um composto orgânico cuja denominação química é **sacarose**. Ele pode ser produzido na forma cristal ou refinado.

O açúcar líquido trata-se de um produto com o mesmo perfil de sabor e poder adoçante do açúcar sólido comum sendo, por esses motivos, altamente requisitado pelas indústrias produtoras de bebidas carbonatadas.

1.3.1 Tipos de açúcares sólidos

1.3.1.1 Açúcar refinado granulado

Puro, sem corantes, baixo teor de umidade ou empedramento e com cristais bem definidos e granulometria homogênea (Figura 1.2). É mais usado na indústria farmacêutica, em confeitos, **xaropes** de alta transparência e em misturas secas.

Características – **pureza** elevada, granulometria uniforme (fina, média ou grossa) e muitíssimo branco.



Figura 1.2: Açúcar refinado granulado

Fonte: http://www.cookthink.com/reference/1943/Meet_the_sugars

1.3.1.2 Açúcar cristal

Açúcar em forma cristalina produzido sem refino. É muito utilizado na indústria alimentícia para confecção de bebidas, biscoitos e confeitos, dentre outros.

1.3.1.3 Açúcar demerara

Produto de cor escura, que não passou pelo refino. Os cristais contêm melaço e mel residual da própria cana-de-açúcar (Figura 1.3). Com textura firme, não se dissolve facilmente.

A-Z

xarope

É o caldo de cana concentrado nos evaporadores, antes de realizar alguma operação de extração de açúcar.

pureza

É a quantidade de sacarose contida em 100 partes de sólidos totais.

Pureza = (pol x 100)/brix



Figura 1.3: Açúcar demerara

Fonte: http://www.cookthink.com/reference/3394/What_is_Demerara_sugar

1.3.1.4 Açúcar branco (tipo exportação)

Há dois tipos para exportação – o branco para consumo humano direto, com baixa cor, sem refino e o branco para reprocessamento no destino, usina, sem refino, com cor mais escura.

1.3.1.5 Açúcar mascavo

Úmido e de cor amarronzada, não passa pelo processo de branqueamento, cristalização e refino (Figura 1.4). Tem sabor mais forte, assim como o melaço, semelhante ao da rapadura. É utilizado para a produção de pães, bolos e biscoitos integrais e granolas.



Figura 1.4: Açúcar mascavo

Fonte: <http://comosereformaumplaneta.wordpress.com/2009/11/27/acucar-mascavo/>

1.3.1.6 Açúcar orgânico

Açúcar de granulação uniforme, produzido sem qualquer aditivo químico tanto na fase agrícola como na industrial, disponível nas versões clara e dourada (visualmente similar ao demerara). Segue padrões internacionais e certificação por órgãos competentes.

1.3.1.7 Açúcar refinado amorfo

É o mais utilizado no consumo doméstico, por sua brancura, granulometria fina e dissolução rápida, sendo usado na confecção de bolos e confeitos, caldas transparentes e incolores e misturas sólidas de dissolução instantânea (Figura 1.5).



Figura 1.5: Açúcar refinado amorfo

Fonte: <http://www.biocana.com.br/index.php/conteudo/visualizar/indicadores-acucar>

1.3.1.8 Açúcar *Very High Polarization* (VHP)

O açúcar VHP é o tipo mais exportado pelo Brasil. É mais claro que o demerara e apresenta cristais amarelados. No seu branqueamento não há a utilização de anidrido sulfuroso.

1.3.1.9 Açúcar de confeitiro

Tem grânulos bem finos, mais que o refinado, e cristalino. É destinado à indústria alimentícia, sendo muito utilizado no preparo de bolos, glacês, coberturas, suspiros, etc.

1.3.1.10 Açúcar *light*

É constituído pela mistura de açúcar refinado e **edulcorantes**. Tem proporcionalmente menor conteúdo calórico e maior poder adoçante do que o açúcar refinado.

A-Z

edulcorantes

São substâncias, diferentes dos açúcares, com a capacidade de adoçar alimentos. Pode ser usado em substituição total ou parcial ao açúcar. Os edulcorantes têm poder adoçante muito superior ao da sacarose. Se classificam em: naturais, quando obtidos sem reações químicas a partir de plantas ou de alimentos de origem animal; e artificiais ou sintéticos, quando obtidos de produtos naturais ou não, através de reações químicas apropriadas.

1.3.1.11 Açúcar colorido

É elaborado a partir de dois tipos de açúcares: cristal e granulado. É adicionado de corantes alimentícios para obtenção de diferentes cores.

1.3.2 Tipos de açúcares líquidos

1.3.2.1 Xarope de açúcar invertido

O açúcar líquido invertido é um adoçante natural constituído pela mistura de glicose, frutose e sacarose. Pode ser produzido a partir de **inversão** ácida, inversão enzimática e inversão catiônica (resinas). Apresenta-se na forma líquida em uma solução límpida e ligeiramente amarelada, com odor e sabor característicos e com alto poder adoçante (Figura 1.6). Em geral, possui concentração de 76 a 78% de açúcar sólido diluído (**Brix**).

Possui um alto grau de resistência à contaminação microbiológica. De poder umectante e anticristalizante, é utilizado na indústria alimentícia, principalmente para a produção de bebidas.

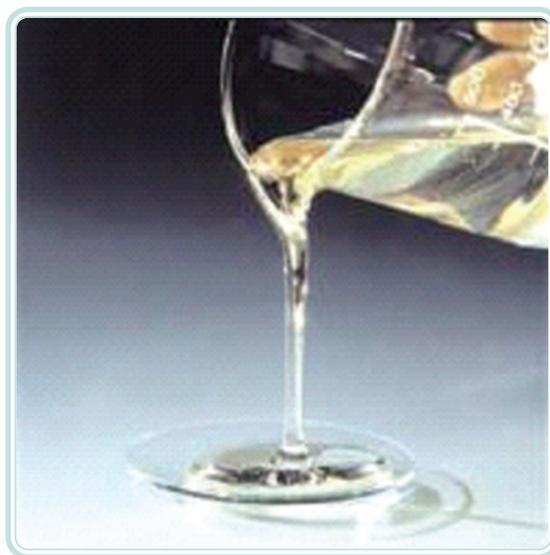


Figura 1.6: Xarope de açúcar invertido

Fonte: <http://www.heavenskitchen.com.br/heavens-detahesreceita-358.htm>

1.3.2.2 Xarope simples ou açúcar líquido

O açúcar líquido é um adoçante natural de sacarose apresentado na forma líquida em uma solução inodora, límpida e cristalina, obtido pela dissolução de açúcar sólido em água, com posterior purificação e descoloração, o que garante a esse produto alta transparência e limpidez.

É usado pela indústria farmacêutica e alimentícia, aplicado onde a ausência de cor é essencial, como bebidas claras, balas e outros confeitos.

A-Z

inversão

A sacarose hidrolisa-se com facilidade em soluções ácidas a velocidades que aumentam notavelmente com o aumento da temperatura e diminuição do pH. Esta reação hidrolítica é denominada de inversão, e causa perda de sacarose.

Brix

São os sólidos solúveis na cana ou na solução açucarada, dos quais uma parte é a sacarose. É expressa como percentagem de peso de sólidos.



Para saber mais sobre o processo de produção do açúcar líquido e líquido invertido, acesse: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr11_0983.pdf

Em geral, possui concentração de 66,7 a 67,3% de sólidos de açúcar solúveis em água (Brix).

Resumo

Nesta aula, vimos os principais aspectos do mercado de açúcar e o destaque que o Brasil ocupa nesse cenário, em se tratando do produto obtido da cana-de-açúcar. A cadeia de produção de açúcar gera tipos diferentes de produtos. Eles se dividem em dois grandes grupos: os açúcares sólidos e os açúcares líquidos. Dentre os sólidos, a classificação se dá principalmente quanto a granulometria e cor. Enquanto que os líquidos são soluções transparentes e límpidas. Possuem o mesmo perfil de sabor e poder adoçante do açúcar sólido comum sendo, por esses motivos, altamente requisitado pelas indústrias produtoras de bebidas carbonatadas.

Atividades de aprendizagem

1. Quais são os principais estados brasileiros produtores de açúcar?
2. Qual é a situação do estado de Goiás no mercado de produção de açúcar no mercado nacional?
3. Quais são os mercados de consumo do açúcar nacional?
4. Descreva as atuais transformações por que passam as indústrias de açúcar no Brasil.
5. Caracterize os açúcares sólidos e líquidos.



Aula 2 – Produção de açúcar

Objetivos

Reconhecer a importância da qualidade da matéria-prima para a produção de açúcar.

Compreender as etapas do processamento de açúcar.

Reconhecer as principais características de cada etapa do processo.

2.1 A cana-de-açúcar como matéria-prima

A produção de cana-de-açúcar está inserida em área agrícola e industrial, portanto, estando sujeita às condições ambientais, que influenciam de forma dramática a qualidade da matéria-prima, provocando ampla variação de seus parâmetros técnicos e de fornecimento.

Fatores como diversificação das variedades, tipos de variedade (precoce, média, tardia), maturação, tratos culturais, condições climáticas, longevidade do canavial, tipo de solo, qualidade e quantidade de fertilizantes aplicados, quantidade e qualidade da vinhaça aplicada, horário da queima, tipo de colheita, condições de transporte e armazenamento, determinam a qualidade da matéria-prima que será processada.

Além disso, há grande variação na matéria-prima recebida na fábrica. As variedades recebidas nunca são as mesmas, geralmente apresentam diferentes tempos de queima, corte e transporte para chegada à fábrica. Há uma série de fatores e condições que podem dificultar as operações agrícolas e nem sempre é possível realizar um trabalho que traga para a indústria a melhor cana do canavial.

Com a colheita mecanizada, muitos problemas poderão ser reduzidos, mas ocorrem outros que também interferem no processo. A qualidade dos processos de cozimento dependem muito da qualidade da cana-de-açúcar entregue na fábrica. As matérias-primas que podem sofrer de alguma forma perdas

por inversão de sacarose, com certeza, vão dificultar e reduzir o desempenho dos cozedores e afetar o cozimento, devido à presença de outros açúcares não-cristalizáveis.

2.2 Processo de produção

O processo de fabricação de açúcar visa, de forma simplificada, à extração do caldo contido na cana, em seu preparo e “concentração”, culminando nos vários tipos de açúcares conhecidos.

Dentro desse processo de fabricação, podemos classificar uma usina de açúcar como uma indústria de extração, uma vez que o açúcar já é produzido pela natureza, através da cana, sendo ele somente concentrado no processo, nas suas várias modalidades. O processo de produção do açúcar envolve especificamente etapas físicas e químicas.

Esse ambiente, somado à variação do mercado, exige dos profissionais constantes ações de interferência no processo que, não tendo o conhecimento rápido e preciso do seu efeito nos produtos finais, incorrem em subaproveitamento de equipamentos, perda de eficiência e subfaturamento.

2.3 Etapas do processo

As etapas de produção de açúcar podem ser divididas em dois grupos: preparação do caldo e cozimento/cristalização.

2.3.1 Etapas da preparação do caldo

2.3.1.1 Recepção da matéria-prima

Na usina, a cana é descarregada em pátios de armazenagem ou diretamente nas mesas alimentadoras, para que seja feita a extração.

2.3.2.2 Extração da sacarose ou moagem

A cana descarregada nas mesas alimentadoras sofre uma lavagem (que vem sendo substituída por limpeza a seco) e, logo após, é conduzida através de esteira rolante para os picadores e desfibradores; esta etapa é conhecida como preparo da cana. A extração do caldo é feita usualmente pelo esmagamento da cana por rolos das moendas que exercem uma forte pressão sobre a cana. A extração por difusão, pelo princípio da osmose, vem substituindo as moendas nas usinas mais novas, porém para a fabricação de açúcar, ainda é pouco usual. Extraem-se cerca de 96% do caldo da cana, que é utilizado para a fabricação de açúcar. O bagaço produzido é utilizado como combustível nas caldeiras.

Nesta etapa é onde ocorrem os maiores índices de contaminação. Os equipamentos devem ser mantidos sempre limpos e em bom estado de conservação, uma vez que por eles passam toda a matéria-prima e esta recebe diversos tipos de preparos e exposições da sacarose.

Para manter a sacarose livre de microrganismos, deve-se manter uma assepsia contínua e eficaz, evitando assim o contato das moléculas de sacarose com os microrganismos que a destroem, transformando-a em outros açúcares não cristalizáveis.

Os cuidados para evitar a proliferação de contaminações bacterianas são de fundamental importância para a conservação e obtenção da sacarose disponível na matéria-prima.

2.3.2.3 Tratamento do caldo

O caldo resultante da extração (essencialmente o da primeira prensagem) é peneirado para a retirada das impurezas grossas, sulfitado com SO₂ para auxiliar na coagulação das matérias coloidais, na formação de precipitados – que farão o arraste das impurezas durante a sedimentação e na desinfecção do caldo; e finalmente caleado com leite de cal, para também coagular parte do material coloidal, precipitar as impurezas e elevar o pH para valores neutros (Figura 2.1).

Alguns processos vêm substituindo com eficiência o sulfito pelo ozônio (O₃). A mistura é, então, aquecida com vapor de água até temperaturas em torno de 105°C, com os objetivos de diminuir a viscosidade do fluido, facilitando a decantação e promover a formação de uma quantidade maior de aglomerados coloidais, que precipitarão no decantador, formando o **lodo** de sedimentação que será posteriormente filtrado. O **caldo clarificado** é enviado para o setor de evaporação.



Para saber mais sobre o processamento da cana-de-açúcar, acesse: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/TAG01_102_22122006154841.html

A-Z

lodo

São as impurezas retiradas do caldo durante o processo de decantação.

caldo clarificado ou decantado. É o caldo que saiu do decantador para eliminação das impurezas contidas no caldo.

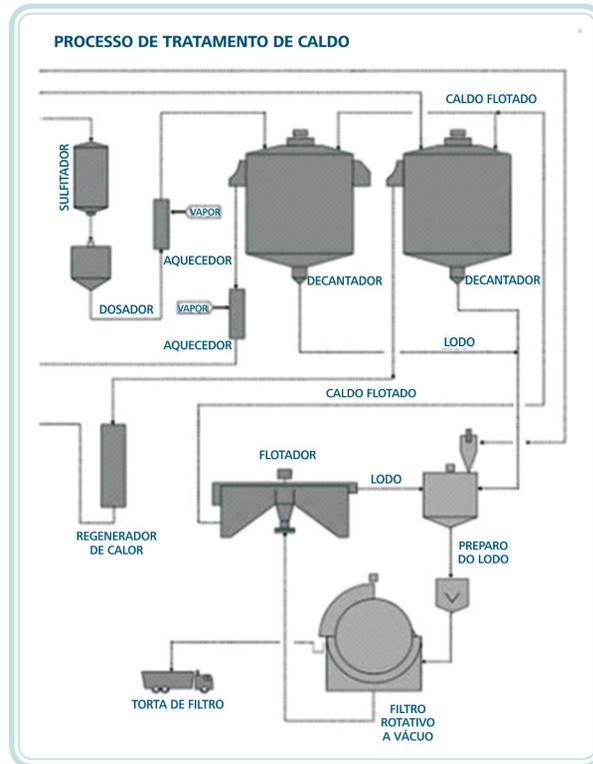


Figura 2.1: Tratamento do caldo

Fonte: <http://mundodacana.wordpress.com/2009/01/09/tratamento-do-caldo/>

2.3.2.4 Evaporação

Constitui o primeiro estágio de concentração do caldo tratado. O caldo tratado contém cerca de 85% de água, que é então, evaporada até que se atinja 40% em água, tornando-se um xarope grosso e amarelado.

Devido a necessidade de economia de vapor, esta evaporação é feita em evaporadores com múltiplo efeito concorrente, isto é, o vapor gerado na caixa de evaporação precedente é utilizado como fonte de aquecimento para a caixa posterior. Esta seção também fornece a água condensada para alimentação das caldeiras.

O conjunto de evaporadores constitui-se de equipamentos que, bem dimensionados e operados, contribuem de forma indiscutível para o bom balanço térmico da fábrica, aumentando ou reduzindo a eficiência de vários outros equipamentos, inclusive dos cozedores.

Um xarope de boa concentração é produto de extrema importância no setor de cozimento. Quando sua concentração é baixa, muito são os efeitos negativos, provocando aumento do consumo de vapor e do tempo de cozimento, bem como perdas de capacidade dos equipamentos.

2.3.3 Cristalização

O xarope produzido pela etapa de evaporação passa por um processo de cozimento, feito em cristalizadores, que na verdade são evaporadores de simples efeito. Nesta etapa, que é realizada em batelada, o xarope é concentrado sob vácuo, até atingir certo grau de supersaturação.

A separação da sacarose das impurezas associadas nas soluções sacarinas é o objetivo fundamental na fabricação de açúcar. Este objetivo é alcançado através da cristalização da sacarose, que é subsequente à separação dos cristais por meio de força centrífuga, pois outras impurezas já foram eliminadas na fase de clarificação.

A presença de não-açúcares nos méis exerce influência adversa no processo da cristalização. A separação da sacarose dos não-açúcares, por meio da cristalização, exige repetidas cristalizações, tantas quantas sejam economicamente possíveis.

2.3.3.1 Supersaturação

Para que haja formação e crescimento dos cristais de açúcar, a condição essencial é a supersaturação. Geralmente, a cristalização de materiais de baixa pureza, requer supersaturação mais alta do que para soluções de açúcar de alta pureza.

Supersaturação é expressa pela relação entre a quantidade de sólidos dissolvidos por unidade de água contida na solução supersaturada e a que se continha na solução saturada de mesma pureza e temperatura.

Exemplo

Suponha uma solução saturada de açúcar a 80°C. Pela curva de saturação, verifica-se que esta solução saturada contém 363 partes de açúcar em cada 100 partes de água. Se esta solução for concentrada à temperatura de 80°C até que o conteúdo atinja 436 partes por cada 100 partes de água, a supersaturação conseguida é a seguinte:

Coeficiente de supersaturação: $436/363 = 1,20$



Para saber mais sobre "Aplicação da produção mais limpa no processo de clarificação do caldo de cana para produção de açúcar", acesse:

<http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/viewFile/735/215>



Métodos de medidas de supersaturação

O grau de supersaturação pode ser medido apenas por vias indiretas. Os métodos comuns são:

- Brix refratométrico.
- Elevação do ponto de ebulição.
- Condutividade elétrica.
- Consistência.

A-Z

massa cozida

É a mistura de cristais e licor-mãe descarregado dos cozedores. A massa cozida é classificada de acordo com sua pureza (primeira, segunda ou terceira).

Assim, a **massa cozida**, após ter sido processada nos cozedores, à temperatura na faixa de 65-70°C e coeficiente de supersaturação de aproximadamente 1,20, é descarregada nos tanques de cristalização.

A massa é então mantida em regime de agitação lenta sobre refrigeração, o que torna possível a continuidade do processo de cristalização iniciado na fase de cozimento do xarope. Esse fenômeno só é possível porque as condições de supersaturação da massa são mantidas pela redução da temperatura.

A agitação também assume grande importância, na medida em que garante o crescimento individual dos cristais em tamanho. A não realização da agitação poderia fazer com que a massa cozida se solidificasse, formando um único bloco, o que não seria desejável.

Portanto, essa fase do processo visa, além do aumento do tamanho dos cristais, à exaustão máxima e possível da sacarose presente no melaço. Esse objetivo, para ser atingido, exige que se trabalhe em temperaturas reduzidas ao mínimo possível, desde que permita a movimentação das pás agitadoras do equipamento.

Com esse procedimento, obtém-se um progressivo decréscimo da solubilidade da sacarose, o que garante as condições necessárias de supersaturação da massa, viabilizando o crescimento dos cristais. Normalmente, nos cristalizadores, a temperatura da massa gira em torno de 55°C, mas, dependendo das características da massa cozida, esses valores podem sofrer oscilações na faixa de 45-50°C, para massas cozidas de densidades elevadas, e acima de 35°C, para massas cozidas de baixas densidades.

A velocidade de resfriamento nos cristalizadores depende das características da massa cozida (por exemplo, densidade), da natureza das impurezas, do formato dos equipamentos e potência de acionamento dos sistemas de agitação. Quando se trata de massa cozida de baixa pureza, a velocidade de cristalização varia acentuadamente, influenciando de forma direta o tempo necessário para que o processo se conclua.

2.3.3.2 Centrifugação

Com o “licor-mãe” tecnicamente esgotado, é necessário separá-lo dos cristais para obter o açúcar propriamente dito. Esse processo de separação do licor-mãe dos cristais de açúcar é realizado pelo sistema de centrifugação através de turbinas centrífugas.

As centrífugas podem ser agrupadas em dois tipos principais: centrífugas intermitentes e centrífugas contínuas.

De forma geral, as centrífugas de açúcar compõem-se de um cesto metálico telado, ao qual se conecta um eixo vertical através da sua extremidade inferior (Figura 2.2). Este eixo, por sua vez, é acionado por um motor elétrico, sendo o movimento transferido ao conjunto eixo/cesto através de polias. Assim, estando o motor em funcionamento, seu movimento é transferido ao conjunto eixo/cesto, provocando rotação. Esse movimento de rotação, por sua vez, acaba por gerar força centrífuga no interior do cesto.

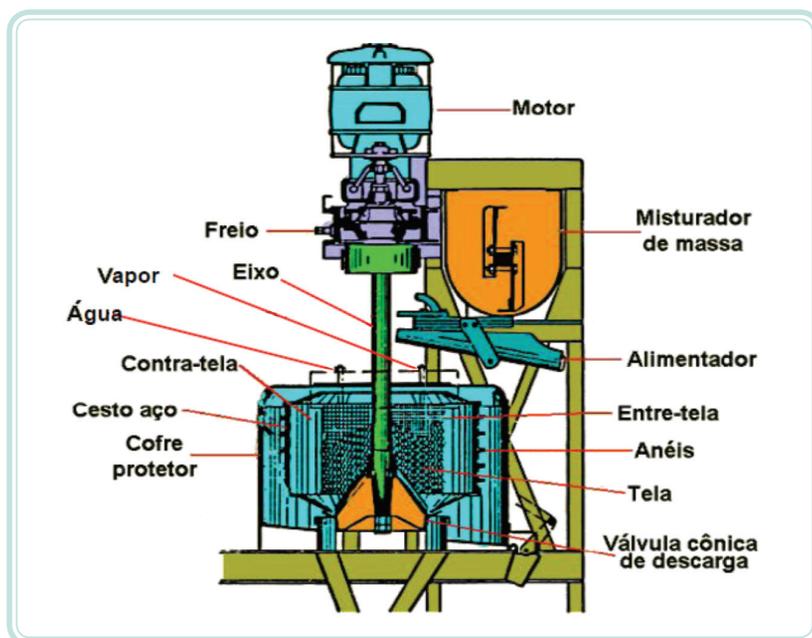


Figura 2.2: Centrífuga convencional

Fonte: www.fcav.unesp.br/omir/aulastaa/aulasacucar/aulaacucar7.pdf

Dessa forma, quando o cesto se encontra em movimento, a tendência que se apresenta é de a massa cozida espalhar-se sobre a superfície interna da tela. Com o aumento da rotação, há intensificação da força centrífuga, fazendo com que o “licor-mãe” drene através dos orifícios da tela.

Os cristais de sacarose, por sua vez, são retidos no interior da tela. No caso de centrífugas intermitentes, as porções iniciais do mel drenado são denominadas de “mel pobre”. Porém, após a aplicação de água e injeção de vapor para a remoção do filme de “licor-mãe”, que ainda permanece recobrendo os cristais de sacarose (conferindo-lhes coloração escura). A porção de mel obtida apresenta maior teor de sacarose. A junção desta porção (com maior teor de sacarose) com o “mel pobre” resulta na obtenção do “mel rico”.

2.3.3.3 Secagem

Quando o açúcar possui umidade elevada, sua deterioração é acelerada, resultando em maiores perdas. O inverso também é verdadeiro. No caso do açúcar demerara, devido ao seu processo de centrifugação, seu teor de água situa-se na faixa de 0,5-2%.

Assim, independentemente do tipo de açúcar, faz-se necessária à realização da secagem do açúcar de tal forma que a sua umidade seja reduzida aos níveis de 0,1-0,2%.

Entre as partes constituintes de um secador de açúcar, destacam-se o aquecedor de ar e um ventilador que promove a circulação do ar quente em contracorrente à movimentação do açúcar no interior do secador.

A temperatura do ar de secagem não deve ultrapassar a marca de 100°C. O ideal é que, na saída do aquecedor, o ar apresente temperatura na faixa de 70-95°C. Nessa condição, tem-se a certeza de que não haverá prejuízos em termos de qualidade decorrentes do amarelamento dos cristais por conta de aquecimentos exercidos pelo ar empregado.

Outra variável importante nessa fase do processo é a velocidade do ar de aquecimento. A mesma deve ser regulada para permanecer na faixa de 1-5 m/s. Contudo, a definição da melhor velocidade é estabelecida por levantamentos realizados sobre eventuais arrastes de cristais finos de açúcar. Se, numa determinada velocidade, esse arraste estiver ocorrendo de forma significativa, devem-se adotar velocidades menores.

Os secadores podem ser horizontais ou verticais, sendo que seus comprimentos e capacidades de secagem são variáveis.

2.3.4 Armazenamento

De uma forma geral, o armazenamento do açúcar é realizado em sacas de 50 kg, *big-bag* de 1.500 kg ou a granel.

2.3.4.1 Armazenamento em sacas

Embalagens de 50 a 1.500 kg podem ser encontradas nas usinas. As sacas de 50 kg, bastante comuns, podem ser de algodão, polietileno e mistura de algodão e polietileno. As embalagens maiores, também conhecidas como *big-bag* (Figura 2.3), são construídas em polietileno e destinam-se ao fornecimento de grandes quantidades a indústrias de alimentos (doces e refrigerantes). Os produtos para exportação podem ser acondicionados nesses ou em outros tipos de embalagens, dependendo do produto, do mercado de destino e das finalidades. Assim, no caso do açúcar demerara, utilizam-se sacos plásticos impermeáveis visando a impedir a deterioração do produto, uma vez que o filme de licor-mãe (que envolve os cristais) é higroscópico e possibilita o desenvolvimento de bactérias que podem trazer prejuízos a qualidade do açúcar.

2.3.4.2 Armazenamento do açúcar a granel

Uma das características marcantes desse sistema é a maior lentidão dos possíveis processos de deterioração quando se compara com o armazenamento em sacas. Nesse sistema, o açúcar das porções laterais torna-se úmido e forma uma camada protetora, a qual atua como barreira à penetração de umidade nas porções centrais. Quanto maior a espessura da camada protetora, mais lentamente ocorrerá à infiltração de umidade.



Figura 2.3: Acondicionamento de açúcar em *big-bags*

Fonte: <http://conflex.com.sapo.pt/caract.htm>

Resumo

Foi visto, nesta aula, a importância da qualidade da matéria prima para o processamento de açúcar, que é fator determinante para a qualidade do produto final. As etapas do processo de produção envolvem o tratamento do caldo, a evaporação, cristalização, através do cozimento do caldo e posterior formação dos cristais de açúcar, pela supersaturação, a cristalização, para a separação dos cristais, a secagem, para a retirada da umidade, e o armazenamento, em sacas ou a granel.



Atividades de aprendizagem

1. Quais são os fatores relacionados ao cultivo da cana-de-açúcar que influenciam em sua qualidade como matéria-prima para a produção de açúcar?
2. Faça um fluxograma simples do processo de preparação do caldo.
3. Explique os tipos de moagem que se aplicam a cana-de-açúcar.
4. Como as contaminações de origem biológica podem ser controladas durante o processo de moagem da cana?
5. Explique como acontecem os processos de sulfitação e caleagem do caldo? Quais seus objetivos?
6. O que é evaporação do caldo?
7. Como ocorre o processo de cristalização?
8. O que é supersaturação?
9. Descreva uma centrífuga.
10. Qual o objetivo da secagem do açúcar? Como ocorre?

Aula 3 – Operações de evaporação e cristalização

Objetivos

Compreender os princípios e objetivos das operações de evaporação e cristalização.

Conhecer o funcionamento das etapas de evaporação e cristalização.

3.1 Processo produtivo

Dentro do processo de fabricação do açúcar as duas etapas que reconhecidamente apresentam maiores dificuldades de operação são a evaporação e a cristalização.

A etapa de evaporação tem grande peso no balanço energético das usinas de açúcar, pois ao menos tempo que necessita de grande quantidade de vapor das caldeiras, também gera muito vapor vegetal de baixa pressão, utilizado por outros equipamentos da usina.

Quanto à cristalização, sua maior importância é quanto à operação dos cristalizadores na qualidade do produto final e na economia do processo produtivo.

3.2 Evaporação

A evaporação, que constitui o primeiro estágio de concentração do caldo proveniente da seção de tratamento, tem o propósito de elevar a concentração da solução antes de enviá-la à etapa de cristalização.

O caldo que sai da etapa de extração, e passa pela etapa de tratamento, apresenta grande quantidade de água e concentração de 14 a 17 Brix. A evaporação da água ocorre até a concentração do caldo entre 50 e 70 Brix.

O evaporador utilizado nas usinas de açúcar é o evaporador de tubos verticais, que trabalha de maneira contínua, com o movimento do líquido propulsionado pela convecção natural gerada por diferenças de temperatura na massa líquida em movimentação em seu interior.

A superfície de aquecimento situa-se na parte inferior do corpo do aparelho e, entre duas chapas (espelhos), estão fixados os tubos verticais (calandras) por onde circula o caldo em concentração.

O vapor introduzido na calandra condensa-se entre os espelhos e externamente aos tubos cedendo energia ao líquido que se encontra no interior do equipamento.

Devido à intensa ebulição que ocorre na calandra do evaporador, muitas gotículas de caldo são atiradas ao corpo do evaporador. Uma fração dessas gotículas volta a cair sobre a calandra, enquanto que a outra, representada pelas gotículas menores, é arrastada pelos vapores ascendentes resultando numa perda significativa de açúcar. Quanto maior o vácuo existente no interior do aparelho, maior o perigo desse arraste ocorrer.

A fim de evitar esta perda, os evaporadores possuem em sua parte superior um dispositivo, separador de arraste, que utilizando a inércia das gotículas, faz com que estas, mediante uma súbita mudança na direção do vapor, separem-se dessa corrente e escurram novamente para o interior do corpo de evaporação.

3.2.1 Evaporador de múltiplo efeito

No evaporador de múltiplo efeito (EME) o vapor de um efeito precedente é utilizado para aquecer a caixa posterior (Figura 3.1). Após o primeiro efeito, os demais são colocados sob vácuo. A solução apresentada tem o inconveniente de exigir uma instalação para criar o vácuo necessário, porém possui duas grandes vantagens:

- Aumenta a diferença total de temperatura entre o vapor de uma caixa e a temperatura de ebulição do caldo da caixa seguinte.
- Permite continuar a evaporação com temperaturas menos prejudiciais sob o ponto de vista da qualidade do produto à medida que o caldo se torna mais concentrado e mais viscoso.

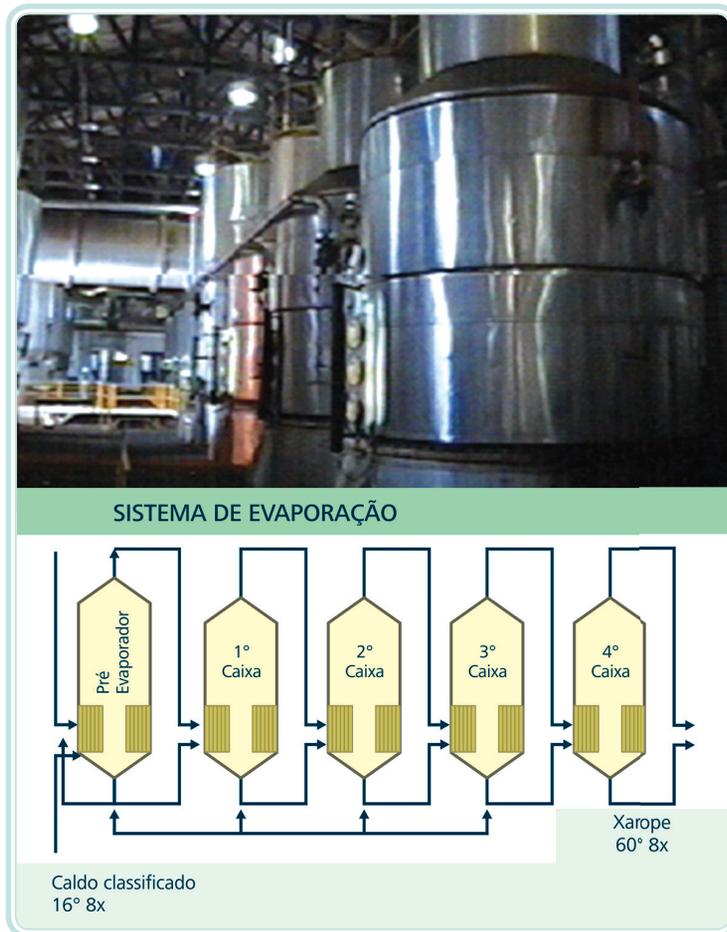


Figura 3.1: Evaporador de múltiplo efeito

Fonte: <http://www.centerquimica.com/clariant.html>

Um fenômeno importante que ocorre na evaporação do caldo açucarado e em todas as soluções é o aumento do ponto de ebulição. A temperatura de ebulição de uma solução depende da pressão em que se encontra e da concentração de soluto que apresenta, ou seja, o Brix do caldo. Outra influência no valor da temperatura de ebulição é a pressão hidrostática. Quando uma pressão é exercida sobre a superfície de um líquido, a pressão à qual são submetidas as moléculas do líquido – que se encontram em uma certa profundidade na massa – é igual a esta pressão acrescida do peso do líquido correspondente à sua profundidade.

De maneira geral, o sistema é constituído de três a cinco efeitos, onde o primeiro, denominado pré-evaporador, tem a sua superfície de troca térmica maior do que a dos efeitos seguintes. Parte dos efeitos trabalha com pressão abaixo da atmosférica, mantida por condensadores barométricos.



Para conhecer sobre pressão hidrostática, acesse: http://www.walter-fendt.de/ph14br/hydrostpr_br.htm

A maior área do pré-evaporador é proposital para que se tenha um excesso de vapor vegetal produzido (proveniente da evaporação do caldo), que pode ser extraído (sangrado) e utilizado em outras etapas do processo, como nos trocadores de calor e cristalizadores.

Os limites de temperatura possíveis para o caldo na evaporação são estabelecidos pela caramelização do açúcar para o limite superior, e pela qualidade do vácuo obtido no último efeito, para o limite inferior.

O controle do evaporador de múltiplo efeito pode ser efetuado tendo como objetivo final o controle da concentração de saída do equipamento, de preferência de forma automatizada.

O vácuo é estabelecido por meio de um ejetor em um recipiente fechado, denominado condensador, que está em comunicação com os aparelhos nos quais se deseja gerar vácuo. Uma bomba leva água fria (que assegura a condensação do vapor vindo dos cozedores ou do EME) para este condensador, colocado a uma altura suficiente para que a água escorra por gravidade juntamente com o vapor condensado. A água é resfriada e reconduzida ao condensador como água fria, formando um circuito fechado.

3.3 Cristalização

Nesta etapa de produção do açúcar ocorre a cristalização da sacarose contida no xarope proveniente da seção de evaporação. A solução viscosa constituída de licor-mãe e cristais é agora denominada massa cozida.

Sua consistência não mais permite fervê-la em tubos estreitos e fazê-la circular facilmente de um corpo de evaporação a outro como no caso do EME. É utilizado então um cristalizador, que possui detalhes dimensionais melhor adaptados ao produto viscoso que deve ser concentrado. Este equipamento é geralmente denominado cozedor, cozedor à vácuo, tacho ou simplesmente vácuo.

A solubilidade da sacarose na água varia de acordo com a temperatura e aumenta rapidamente com esta. A 40°C, por exemplo, é possível dissolver 2,334 kg de açúcar puro em 1 kg de água; a 80°C, dissolvem-se 3,703 kg. Nestas condições a solução é dita saturada. Na prática, as soluções apresentam outras soluções dissolvidas além do açúcar. Estas substâncias modificam a solubilidade do açúcar, reduzindo-a na mesma proporção que a pureza.

As condições ideais de pressão e temperatura, que levam a supersaturação do xarope, propiciam a cristalização da sacarose. Em decorrência da evaporação da água do xarope no interior do cozedor, novas cargas de xarope devem ser admitidas no equipamento, com o objetivo de apenas promover o crescimento dos cristais.

O produto do cozimento é a massa cozida, que é uma mistura de cristais de sacarose envolvidos por mel ou licor-mãe. Uma vez obtida a massa cozida, esta é enviada a um cristalizador, onde se completa o crescimento dos cristais por deposição (resfriamento com aumento da supersaturação).

Na fase seguinte procede-se à centrifugação, em turbinas, da massa cozida, para remoção do mel que recobre os cristais de sacarose. O açúcar resultante é enviado para as operações finais, quando se realizam a secagem, classificação, acondicionamento e armazenamento.

O mel resultante da centrifugação retorna ao processo, para que se consiga o seu esgotamento econômico através de novo cozimento, cristalização em movimento e centrifugação. O ponto de retorno depende do tipo de massa cozida que lhe deu origem.

Os méis das massas cozidas de primeira e de segunda, normalmente retornam para novos cozimentos de respectivas purezas.

Esse sistema de cozimento é denominado de “sistema de cozimento de duas massas”. O açúcar centrifugado de primeira é encaminhado ao secador para a remoção do excesso de umidade. Uma vez seco e à temperatura ambiente, o mesmo passa à fase de acondicionamento. O açúcar de segunda é empregado como “pé” ou de núcleo de cristalização, na forma de **magma** (açúcar parcialmente dissolvido em água), para novos cozimentos visando à produção de açúcar de primeira.

Resumo

Vimos nessa aula que a etapa de evaporação possui grande peso no balanço energético das usinas de açúcar, por consumir e gerar grandes quantidades de vapor e que a boa condução da etapa de cristalização é fundamental para a qualidade esperada do produto final. A evaporação tem o objetivo de elevar a concentração do caldo antes de enviá-lo à etapa de cristalização e ocorre em algumas etapas. Na cristalização, a sacarose contida no xarope evaporado

A-Z

magma

É a mistura de cristais de açúcar do cozedor de granagem com caldo de cana, xarope ou água. É utilizada como pé dos cozimentos de primeira e de segunda massas.

é cristalizada, produzindo a massa cozida, que é uma mistura de cristais de sacarose envolvidos por mel ou licor-mãe.



Atividades de aprendizagem

1. Explique o funcionamento de um evaporador?
2. O que é um EME? Quais suas características?
3. Como ocorre a cristalização da sacarose?
4. O que é massa cozida?
5. Defina mel pobre e mel rico.

Aula 4 – Balanço de massa

Objetivos

Conhecer os fundamentos de balanço de massa.

Compreender o balanço de massa do processo de obtenção de açúcar.

4.1 Fundamentos do balanço de massa

Sendo um dos princípios fundamentais da engenharia, o balanço de massa é utilizado para fundamentar quantitativamente: eficiências, rendimentos, dimensionamento de instalações e equipamentos, etc.

Baseia-se no princípio de conservação de massa.

O balanço de massa é um estudo mássico de entrada e saída de materiais no processo produtivo buscando rendimentos, perdas, e buscando obter informações para implementações de melhoria no processo (Figura 4.1).

Um balanço de massa deve ter:

- Fluxograma do processo.
- Medidas de entradas e saídas de materiais, inclusive perdas que deverão ser obtidas através de medições diretas de massa, volume, ou medidores de fluxo conforme a necessidade.
- Análises físico-químicas dos subprodutos e produtos obtidos que possam auxiliar no cálculo dos rendimentos das operações unitárias existentes.

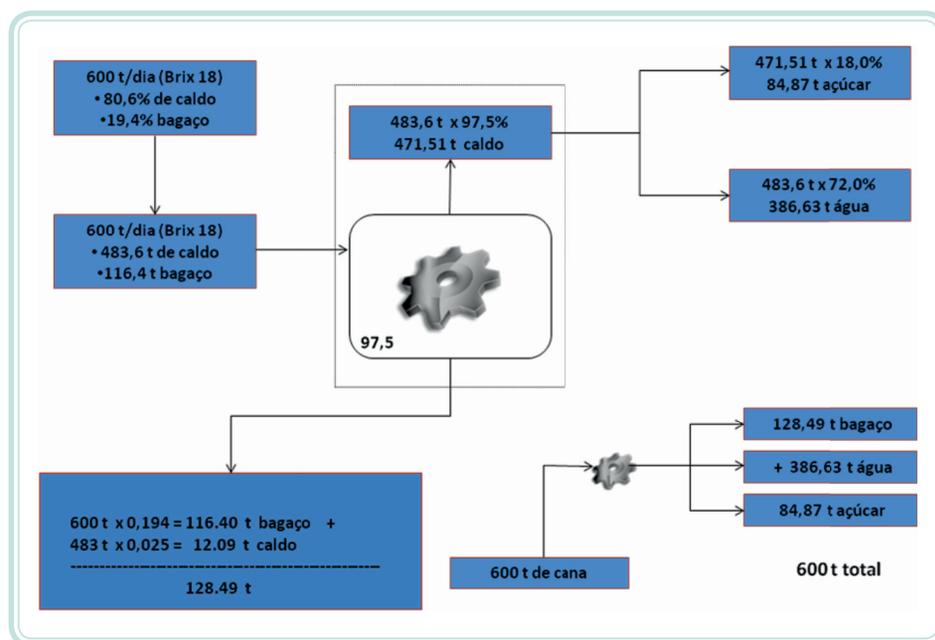


Figura 4.1: Esquema de balanço de massa para produção de açúcar

Fonte: Cottas, 2010

4.2 Balanço de massa de açúcares redutores

O balanço de açúcares redutores totais é um dos cálculos mais recomendados nas indústrias que fabricam açúcar e álcool, pois o mesmo tem como objetivo detectar e mensurar todas as perdas de açúcares (glicose, sacarose, frutose) decorrentes do processo industrial.

A-Z

pol

É o valor obtido pela polarização simples e direta em um sacarímetro de uma solução de peso normal. É expressa como um valor real.

Nos processos que possuem o objetivo de retirar o máximo de sacarose no mel final, é conveniente e possível realizar o “balanço de massa de **pol**” para detalhar as perdas de açúcar (sacarose) que ocorrem no processo industrial.

Quando uma usina tem uma produção de açúcar e mel final sem esgotar a sacarose na seção de cristalização do açúcar ou quando se tem a fabricação de açúcar e álcool na mesma planta industrial, é conveniente e recomendável realizar o “balanço de massa de Açúcares Redutores Totais (ART)”.

Ao realizar o balanço de pol, é difícil controlar e mensurar as perdas de açúcares que ocorrem no processo industrial, principalmente nas águas condensadas dos multijatos dos evaporadores e dos vácuos, na água de lavagem de cana e nas canaletas. É nestas águas residuais que ocorre a inversão da sacarose e os métodos analíticos medem açúcares redutores totais ou carboidratos totais.

Com a utilização do balanço de ART é possível detectar diversas perdas de ART no processo, algumas podem ser mensuráveis e outras não. As perdas não detectáveis e as não mensuráveis, juntamente com todos os erros de amostragem, análise e medição, resultam nas perdas denominadas “perdas indeterminadas”.

No processo industrial, os cálculos devem ser realizados com o total de massa de ART correspondente a cada produto.

4.2.1 ART dos produtos fabricados

O índice de rendimento de fabricação do açúcar e do álcool (ARTprod) é dado por:

Equação 4.1

$$\text{ARTprod} = \text{QAp}/0,95 + \text{VEp}/0,6475$$

Onde: QAp = rendimento obtido de açúcar expresso como sacarose (kg/t cana)

VEp = rendimento de álcool expresso como etanol (l/t cana)

Observação

Quando há produção de leveduras secas ou venda de xarope ou mel, estes devem ser convertidos em ART e o resultado acrescentado ao rendimento de ART obtido com açúcar e álcool.

Exemplo

QAp = 36,28 kg de sacarose por tonelada de cana

VEp = 59,39 l de etanol por tonelada de cana

$$\text{ARTprod} = 36,28/0,95 + 59,39/0,6475$$

$$\text{ARTprod} = 129,90 \text{ kg/t cana}$$

4.2.2 Perdas na lavagem da matéria-prima

A estocagem ou a espera da matéria prima no pátio é a primeira perda identificada. A lavagem de cana é a segunda etapa onde podemos detectar e mensurar as perdas de açúcares.

Quando as usinas utilizam o sistema de circuito fechado devem ser medidos os açúcares totais na água de entrada e na água de saída. A diferença deve

ser multiplicada pelo volume de água utilizada por tonelada de cana, sendo assim é possível a mensuração das perdas de açúcares na água de lavagem da cana. A medição correta do volume de água por tonelada de cana nem sempre é possível em escala de rotina, sendo comum a aplicação de um valor constante, embora o volume possa ser variável de acordo com as condições de trabalho.

Equação 4.2

$$KI = V \text{ água} \cdot (ARTe - ARTs)$$

Onde: KI = perda de ART na água de lavagem de cana (kg/t cana)

V água = volume de água utilizada em m³/t cana

ARTe = açúcares redutores totais na água de entrada do circuito (kg/m³)

ARTs = açúcares redutores totais na água de saída do circuito (kg/m³)

4.2.3 Perdas no bagaço final

A quarta perda ocorre no bagaço final e esta é uma das maiores perdas de açúcares possíveis de determinação direta no processo de industrialização da cana. Sendo assim após conhecer a quantidade de bagaço, pode-se calcular a perda no bagaço final pela multiplicação da quantidade de bagaço pelo teor de ART no bagaço.

O teor de ART no bagaço pode ser determinado e mensurado através do extrato do bagaço no digestor ou no caldo extraído do bagaço na prensa. Entretanto, esta determinação é trabalhosa e de custo relativo alto. Como alternativa, pode ser obtido assumindo que a relação entre os açúcares redutores % com a pol da cana é igual entre os açúcares redutores % bagaço com a pol do bagaço e que a soma da pol na forma de açúcares invertidos com os açúcares redutores fornece os açúcares redutores totais.

Provavelmente, esta relação no bagaço é maior do que na cana, devido às inversões de sacarose que ocorrem ao longo da moenda, o que resulta em ART estimado no bagaço, menor do que o real.

Equação 4.3

$$ARTbg = POLbg \cdot (1/0,95 + ARC/PC)$$

Onde: ARTbg = açúcares redutores totais % bagaço

POLbg = pol no bagaço

ARC = açúcares redutores % cana

PC = pol na cana

Conhecendo o teor estimado de ART do bagaço (ARTbg) pode ser calculada a perda de açúcares no bagaço final (Kb) em kg/t cana:

Equação 4.4

$$Kb = Qbg \cdot ARTbg/100$$

Onde: Kb = perda de ART no bagaço (kg/t cana)

Qbg = massa de bagaço (kg/t cana)

4.2.4 Perdas na torna de filtros ou prensas

Torta de filtro são as impurezas resultantes da decantação do caldo. Normalmente é realizada a pesagem de toda a torta que sai dos filtros, sendo que assim pode-se ter a quantidade de torta por tonelada de cana (kg/t cana). Para a obtenção e mensuração da perda de ART contido na torta utiliza-se o seguinte cálculo:

Equação 4.5

$$ARTt = POLt \cdot (1/0,95 + ARC/PC)$$

Onde: ARTt = açúcar redutores totais % torta

POLt = pol na torta

ARC = açúcares redutores % cana

PC = pol na cana

A perda de açúcar na torta Kt em kg/t cana:

Equação 4.6

$$Kt = Qtf \cdot (ART/100)$$

Onde: Kt = perda de ART na torta (kg/t cana)

Qtf = massa de torta (kg/t cana)

A Figura 4.2 representa o esquema de um balanço de massa para produção de açúcar.

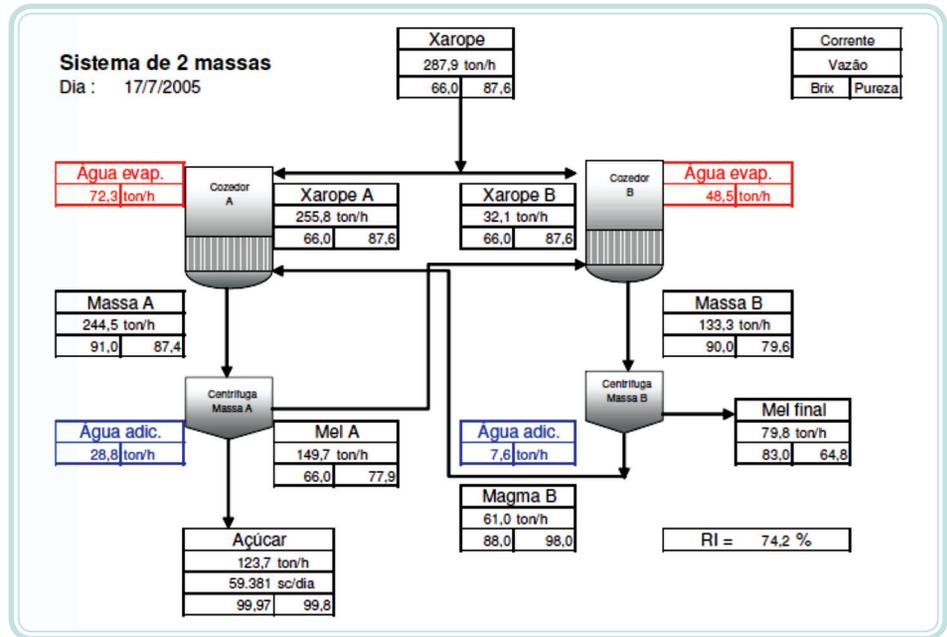


Figura 4.2: Exemplo de balanço de massa para produção de açúcar

Fonte: Lopes, 2010

Resumo

Nesta aula, vimos como se faz um balanço de massa para açúcares redutores totais. Para isso, deve-se considerar as perdas de água da lavagem de cana, bagaço final da moenda, torta, destilaria, e outras perdas também podem ser mensuradas e quantificadas no processo industrial como a água de canaletas e multijatos.



Atividades de aprendizagem

1. Qual a finalidade de se fazer um balanço de massa?
2. O que é ART?
3. Quais as perdas se devem considerar no balanço de massa de Açúcares Redutores Totais?
4. Dentre as perdas, qual se espera seja a maior?
5. E a menor? Por quê?

Aula 5 – Parâmetros de qualidade

Objetivos

Identificar as características de qualidade necessárias ao açúcar.

5.1 Qualidade do açúcar

Como qualquer produto alimentício, a qualidade do açúcar é regida por legislações específicas, as quais abordam características físico-químicas, micro-biológicas, microscópicas e sensoriais.

5.2 Características físico-químicas

As características físico-químicas do açúcar se relacionam principalmente aos teores de sacarose ou polarização (pol), resíduos mineral fixo, dextrana, índice de cor (ICUMSA), teor de dióxido de enxofre, teor de umidade e teor de ferro.

5.2.1 Teor de sacarose

Na análise deste parâmetro, é verificada a pureza do produto, que está relacionada à sua capacidade de adoçar.

Menor teor de sacarose indica a presença de açúcares redutores (glicose e frutose), dextrana, amido e cinzas.

A especificação varia de 98,5 a 99,8% dependendo do tipo de açúcar sólido.

5.2.2 Resíduo mineral fixo

O ensaio de resíduo mineral fixo ou teor de cinzas, como também é conhecido, verifica o teor de impurezas (terra, areia, etc.) existentes na composição do produto que, geralmente são provenientes da colheita da cana-de-açúcar.

A não conformidade neste ensaio, no caso de serem encontrados valores acima do limite da legislação, pode representar alteração das características sensoriais do produto, conferindo-lhe uma coloração mais escura e aspecto arenoso.

A especificação varia de 0,04 a 0,2%.

polissacarídeo

Nome dado a todos os sacarídeos com cadeia de mais de 12 monossacarídeos. Os mais fundamentais presentes na cana-de-açúcar são a dextrana e o amido. São muito prejudiciais nos processos de moagem, clarificação, cristalização e centrifugação do açúcar.

5.2.3 Dextrana

É um **polissacarídeo** de alto peso molecular, formado pela deterioração microbiológica da cana.

Sua presença altera a pol do açúcar e alonga os cristais de açúcar. Provoca o aumento da viscosidade das soluções açucaradas e reduz a taxa de filtração, além de afetar o empacotamento e armazenagem do açúcar por mudança de densidade aparente.

Quando presente na produção de bebidas pode provocar turbidez, e em balas altera a etapa de cristalização, enquanto em geléias pode alterar a consistência.

5.2.4 Índice de cor (ICUMSA)

Esta análise verifica se a coloração do produto está de acordo com a classificação utilizada pelo fabricante no rótulo do produto. O termo ICUMSA refere-se à Comissão Internacional para Métodos Uniformes de Análise de Açúcar.

Quanto mais baixo esse índice, mais claro, ou mais branco, é o açúcar. À medida que esse índice aumenta, o açúcar vai adquirindo uma coloração mais escura.

A coloração do açúcar está diretamente relacionada: ao número de partículas carbonizadas presentes, o que representa falha na higienização do equipamento que entra em contato com o produto, uma vez que tais partículas são arrastadas durante o processo de fabricação; e ao tamanho dessas partículas, ou seja, quanto menores as partículas, mais branco é o açúcar e vice-versa.

Um açúcar de cor mais escura na produção de alimentos pode alterar além da cor, o sabor e o aroma dos produtos.

A especificação varia de inferior a 45 a inferior a 120.

5.2.5 Teor de dióxido de enxofre

Esse ensaio verifica a existência de resíduos de dióxido de enxofre (SO₂) no açúcar refinado. O dióxido de enxofre é adicionado durante a etapa de clarificação do açúcar. Este método é utilizado para o branqueamento do melado da cana, de coloração escura. Entretanto, esse aditivo deve ser eliminado, dentro de limites toleráveis, até o final do processo, pois, traços residuais de enxofre podem ocasionar alterações sensoriais do produto, principalmente, de sabor e odor, além de reações alérgicas e dores de cabeça, no caso de concentrações maiores.

5.2.6 Teor de umidade

O ensaio de teor de umidade verifica a quantidade de água presente no produto. O açúcar, dada a sua baixíssima atividade de água, é classificado como produto estável microbiologicamente. Da presença de água neste produto decorre o empedramento, ocasionado pela aglomeração dos cristais, o que dificulta o seu uso.

A especificação varia de 0,04 a 0,4%.

5.2.7 Teor de ferro

Este ensaio verifica a presença deste elemento na composição do produto. O ferro é considerado como contaminante natural de produtos de origem vegetal, dada a sua presença no solo onde a matéria-prima é plantada. Entretanto, sua presença também pode estar relacionada à má conservação dos equipamentos (ferrugem), podendo contaminar o produto através do contato, seja durante a colheita, seja durante o processamento da cana.

A contaminação por ferro em grandes concentrações é facilmente perceptível, pois altera o sabor do produto. Além disso, pode causar reações gástricas como, por exemplo, acidez estomacal.

A especificação é de no máximo 10 mg/kg para açúcar extra, especial ou superior.

5.3 Características microbiológicas

As análises avaliam a conformidade do produto em relação a contagem de bolores e leveduras: máximo de 10^3 UFG/g e salmonela: ausência em 25 g.

O açúcar refinado é classificado como produto alimentício microbiologicamente estável, ou seja, a incidência de contaminação dessa natureza neste tipo de alimento é muito pequena por se tratar de produto com baixíssima atividade de água, o que inibe a proliferação de microrganismos.

Em relação às possíveis contaminações microbiológicas que o produto pode vir a sofrer, a mais preocupante é a que se refere à contaminação por salmonela. A contaminação por bactérias desta classe pode ocorrer através de manipulação inadequada do produto ou através da matéria-prima utilizada e que, mesmo em pequenas quantidades, pode causar, principalmente, problemas gastrointestinais e dores de cabeça, seguidas de vômito, diarreia e febre. Dependendo da concentração ingerida, pode levar a morte do indivíduo.

A contaminação por bolor, considerado como deteriorante em potencial de alimentos, está relacionada, principalmente, a problemas de conservação e armazenamento do produto.

5.4 Características microscópicas

Esta análise verifica a presença de matérias estranhas no alimento, nocivas ou não, qualquer que seja sua natureza, originadas de contaminação, em decorrência de práticas inadequadas durante as fases de colheita, produção, processamento, armazenamento, transporte e distribuição.

5.5 Características sensoriais

Esta avaliação, conforme definido na Resolução nº 12/78, avalia as propriedades sensoriais inerentes ao produto e à matéria-prima. É verificado se tais propriedades não foram alteradas durante o processo produtivo; por exemplo, verifica-se a presença de traços residuais de enxofre no sabor e/ou odor do produto final, de sólidos em suspensão, ou da presença de contaminantes naturais, como o ferro. As propriedades sensoriais a serem verificadas são: aspecto, cor, odor e sabor.

As propriedades verificadas são:

- **Aspecto** – próprio do tipo de açúcar.
- **Cor** – própria do tipo de açúcar.
- **Odor** – próprio.
- **Sabor** – doce.

Resumo

Nesta aula vimos às características de qualidade próprias para o açúcar. Para a avaliação da qualidade de açúcar é necessário analisar os parâmetros físico-químicos, microbiológicos, microscópicos e sensoriais. É importante destacar que a não conformidade a estes parâmetros, representam riscos para a saúde dos consumidores. O único fator que pode influenciar na decisão de compra de uma marca ou de outra, é o índice de cor ICUMSA, de caráter visual, através do qual o consumidor pode optar por um açúcar mais branco.

Atividades de aprendizagem



1. O que se analisa no parâmetro “teor de sacarose”?
2. O que é o resíduo mineral fixo?
3. Por que o resíduo mineral fixo não conforme pode representar alteração na qualidade sensorial?
4. O que é o “índice de cor ICUMSA”?
5. Como é a relação do índice ICUMSA com a cor branca do açúcar?
6. Quais são as principais consequências ao consumidor do teor não conforme de dióxido de enxofre no açúcar?
7. Por que se analisa o teor de umidade do açúcar, já que se trata de um produto estável microbiologicamente?
8. Elabore uma tabela com os valores de especificação para todos os parâmetros físico-químicos estudados para o açúcar.
9. Quais são os microrganismos que devem ser analisados no açúcar?
10. O que são características microscópicas?
11. Quais são as características sensoriais do açúcar?

Referências

BIANCHINI, Vívian Karina; ASSUMPÇÃO, Maria Rita. A diferenciação de produtos na cadeia produtiva do açúcar: o processo de produção dos açúcares líquido e líquido invertido. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2002, Curitiba. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr11_0983.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2010.

CORTEZ, Luiz Augusto Barbosa (coordenador). **Bioetanol de cana-de-açúcar**. São Paulo: Blücher, 2010.

COTTAS, Carlos Roberto Garcia. **Aproveitamento de energia**. UFCG. Ago. de 2010. Trabalho inédito.

FERNANDES, Antônio Carlos. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: STAB, 2003.

Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. Brasília: Anvisa, 2008.

LIMA, Urgel de Almeida et al. **Matéria-prima dos alimentos**: Parte I – Origem vegetal. Parte II – Origem animal. 1. ed. São Paulo: Blücher, 2010.

LOPES, Jorge José Corrêa. **Produção de açúcar**. UFSCar. Ago. de 2010. Trabalho inédito.

PAYNE, John Howard. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana**. São Paulo: Nobel/STAB, 1989.

SANTOS, Fernando; BORÉM, Aluizio; CALDAS, Celso. **Cana-de-açúcar**: bioenergia, açúcar e álcool – tecnologias e perspectivas. Viçosa: Editora UFV, 2010.

UNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar). **Cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras**. 2010. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 12 ago. 2010.

Currículo do professor-autor

Simone Silva Machado possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa (1994) e doutorado em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás (2005). Atuou em diferentes setores da indústria alimentícia. Atualmente é professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Inhumas. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Processamento e Controle de Qualidade de Frutas e Hortaliças, atuando em pesquisas e projetos de extensão principalmente nas áreas de segurança e qualidade do alimento.



