

● REVISTA

INOVA Ciência & Tecnologia

● CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE TRÊS MARCAS DE AÇÚCAR DO TIPO CRISTAL

**Monike Mara Rodrigues Farinelli¹*, *Claudia Maria Tomás Melo¹*  

1 Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), campus Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

RESUMO: O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de açúcar no mundo, sendo que a produção de 2020/2021 de cana-de-açúcar no Brasil foi estimado em 630,7 milhões de toneladas, um volume 1,9% menor em relação à safra 2019. As características do produto final afetam diretamente a qualidade e o preço que o açúcar será comercializado, quanto menor a qualidade menor será seu valor comercial em virtude das exigências do mercado. Alguns dos diferentes tipos e/ou nomes comerciais de açúcares produzidos e ofertados no mercado se baseiam na legislação e, dentro deste contexto, é de grande importância garantir e identificar a qualidade desse alimento. O trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de três marcas comerciais de açúcar tipo cristal (A, B e C), comercializados na cidade de Uberlândia-MG, através da comparação dos resultados experimentais com a legislação vigente. Foram coletadas três amostras e as avaliações foram realizadas em triplicata em relação a umidade, cinzas condutométrias, cor, polarização, granulometria e resíduos insolúveis. Verificou-se que a qualidade dos produtos analisados estava parcialmente em conformidade ao exigido pela legislação, tendo como parâmetro discrepante os resíduos insolúveis que apresentaram valores muito acima do exigido e, para a cor, os valores de duas marcas ficaram também acima do esperado. Concluiu-se, portanto, que a qualidade do produto comercializado no Brasil é, de forma geral, de boa qualidade, mas alguns parâmetros precisam ser revistos, sendo a marca C considerada, no experimento, a melhor entre as marcas analisadas.


* **Autor correspondente:**
monikemara@hotmail.com


Recebido: 12/08/2020.
Aprovado: 12/05/2021.

Como Citar: Farinelli, M. M. R., & Tomas Melo, C. M. (2021). Avaliação da qualidade físico-química de três marcas de açúcar do tipo cristal. Revista Inova Ciência & Tecnologia / Innovative Science & Technology Journal. 2021; 7: e0211043.

doi.org/10.46921/riict2021-1143

Editores:

Dr. Adelar Jose Fabian 

Dr. Ailton Cesar Lemes 

Copyright: este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de atribuição Creative Commons, que permite uso irrestrito, distribuição, e reprodução em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.



Palavras-chave: Comercialização. Legislação. Sacarose.

EVALUATION OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY OF THREE BRANDS OF CRYSTAL SUGAR

ABSTRACT: Brazil is one of the largest sugar producers and exporters in the world, with the 2020/2021 sugarcane production estimated in 630.7 million tons, a volume 1.9% lower in relation to the 2019 harvest. The characteristics of the final product directly affect the quality and price at which sugar will be marketed. The lower the quality, the lower its commercial value will be, due to market requirements. Some of the different types and / or trade names of sugars produced and offered on the market are based on legislation and, within this context, it is of great importance to guarantee and identify the quality of that food. The work aimed to evaluate the quality of three commercial brands of crystal-type sugar, marketed in the city of Uberlândia-MG by comparing the experimental results with the current legislation. Three samples were collected and the evaluations were carried out in triplicate in relation to humidity, conductivity ashes, color, polarization, granulometry and insoluble residues. It was found that the quality of the analyzed products is partially in compliance with the requirements of the legislation. The discrepant parameter was the insoluble residue that presented values well above the required and, for the color, the values of two brands were also above from expected. It is concluded, therefore, that the quality of the product sold in Brazil is, in general, of good quality, but some parameters need to be revised, with the brand C being considered, in the experiment, the best among the brands analyzed.

Keywords: Commercialization. Legislation. Sucrose.

INTRODUÇÃO

REFERENCIAL TEÓRICO

1. Importância da cana-de-açúcar no Brasil e no mundo

A cana-de-açúcar é proveniente da Nova Guiné, foi enviada para o sul da Ásia, sendo utilizada inicialmente como xarope. A primeira evidência do açúcar sólido é do ano 500 na Pérsia (MOZAMBANI et al., 2006).

A produção de cana-de-açúcar no Brasil teve início no século XIV, no início do período colonial. Em meados do século XVII, o Brasil tornou-se o maior produtor de açúcar de cana-de-açúcar do mundo, na época destinado ao abastecimento da Europa, num ciclo que durou 150 anos (RODRIGUES; ORTIZ, 2006).

Foi a principal base da economia do nordeste brasileiro, na época dos engenhos, sendo que a principal força de trabalho empregada foi a mão de obra escravizada, primeiramente indígena e, em seguida, majoritariamente, de origem africana, sendo utilizada até o fim do século XIX. Com o tempo, a economia dos engenhos entrou em decadência, sendo praticamente substituída pelas usinas. Sena et al. (2014) relatam o processo de decadência dos Engenhos de Rapaduras na Região de Bandeiras e seus impactos econômicos e sociais de 1970 a 1989.

A principal matéria-prima para a indústria sucroalcooleira no Brasil é a cana-de-açúcar, pertencente à família Poacea e ao gênero *Saccharum*. A cana-de-açúcar nobre ou nativa, plantada e cultivada nas regiões tropicais e subtropicais do mundo até a introdução de outras variedades, pertenciam todas à mesma espécie *Saccharum officinarum* (CASTRO; ANDRADE, 2006).

A cana-de-açúcar é uma cultura que apresenta grande versatilidade, pois além de ser a principal matéria-prima para a produção de açúcar, álcool, aguardente, açúcar mascavo, rapadura e melado, desde muito tempo, pode ser utilizada para diversos processos como produção de doces, balas, sucos, refrigerantes, bolos, inclusive alimentação animal (ANJOS; SILVA; CAMPANA, 2008).

O Brasil está entre os maiores produtores de cana-de-açúcar no mundo, seguido por Índia, Tailândia e Austrália, com participação de cerca de 40% no comércio exterior, mas por tratar-se de uma *commodity*, de acordo com Levi (2009), os produtores de açúcar estão vulneráveis às oscilações de preço do mercado, já que o valor pago depende fundamentalmente das variações internacionais.

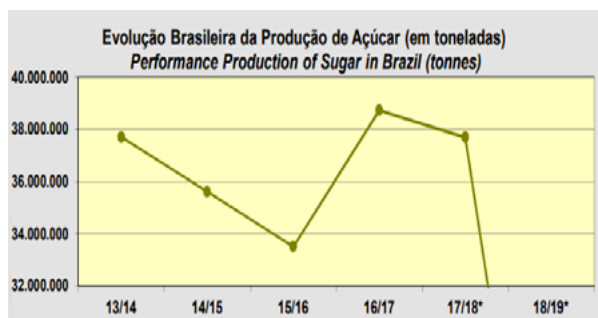
Em 1991, no Brasil, foram produzidas 7,365 milhões de toneladas de açúcar e em 2009, 31 milhões de toneladas (MACHADO, 2012) e, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2019), em 2018/2019 a produção foi 35,48 milhões de toneladas.

Para 2020/2021, há uma estimativa para redução na produção de cana-de-açúcar. A estimativa é que sejam colhidos 630,7 milhões de toneladas, um volume 1,9% menor em relação à safra 2019/20, mas com a produção de açúcar estimada em 35,3 milhões de toneladas, crescimento de 18,5% em relação ao produzido

na safra passada, situando o Brasil no patamar de maior produtor do mundo por dois anos seguidos, com um crescimento de 32% em relação ao que foi alcançado na última safra (BRASIL, 2018; CONAB, 2020).

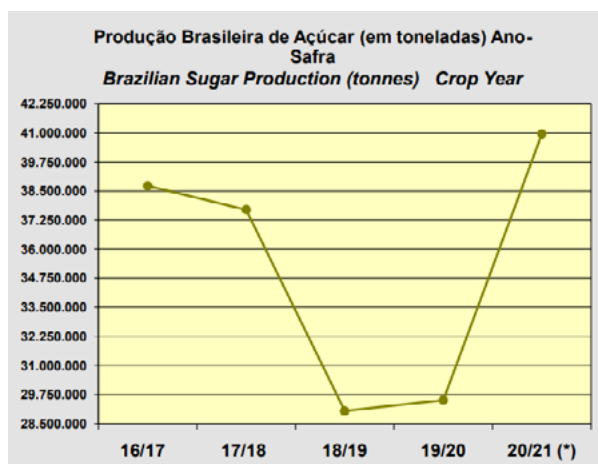
A evolução da produção de açúcar ao longo dos anos é apresentada nas Figuras 1 e 2, mostrando que há variação de produção ao longo dos anos, baseando-se na demanda seja pelo mercado interno e/ou externo (UDOP, 2021).

Figura 1 – Evolução da produção de açúcar dos anos de 2013 a 2019.



Fonte: UDOP (2021)

Figura 2 – Evolução da produção de açúcar dos anos de 2016 a 2021.



Fonte: UDOP (2021)

A CONAB, designada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), promove desde 2005 levantamentos e avaliações trimestrais da safra brasileira de cana-de-açúcar, pois o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar, tendo grande importância para o agronegócio brasileiro. Este levantamento de dados tem o propósito de abastecer o governo federal com informações relevantes para auxiliá-lo a gerir as políticas públicas voltadas para o setor sucroenergético, além de fornecer dados importantes ao próprio setor (CONAB, 2020).

Levando em consideração a produção de álcool e açúcar pelas usinas produtoras no Brasil, uma vantagem evidente das unidades mistas é possibilidade de reaproveitamento do melaço residual, subproduto da

fabricação de açúcar que, após passar por um processo de reidratação, pode ser destinado à fabricação de álcool. Esta aplicação adiciona valor ao melaço, normalmente destinado à alimentação animal, e cujo preço de comércio representa apenas uma fração do preço do produto principal, o açúcar (CONAB, 2012).

Segundo a CONAB (2020), no exterior há um vácuo no mercado sucroalcooleiro resultante tanto de problemas de produção na Tailândia, segundo maior exportador mundial, e da decisão de alguns países de restringir as exportações para priorizar o mercado interno, como ocorre, por exemplo, na América Central o que faz do Brasil o centro comercial desta commodity.

2. A sacarose

O açúcar, sem outra designação específica, é a sacarose obtida da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) ou da beterraba (*Beta vulgaris*). De acordo com a tecnologia empregada, o açúcar é obtido em diferentes tipos e graus de pureza (STRONG, 1954).

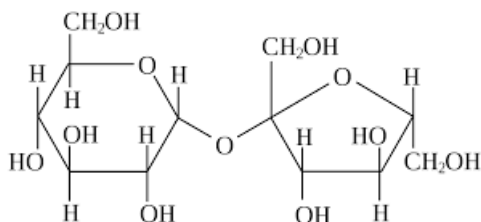
O caldo extraído da cana-de-açúcar é uma solução complexa de sacarose impura e diluída, cujas impurezas se encontram dissolvidas e em dispersão coloidal. Entre os componentes existentes, encontram-se açúcares (sacarose, glicose e frutose), os não açúcares (sais orgânicos e inorgânicos, proteínas, pectinas, gomas, ceras e gorduras) e diversas impurezas externas da própria cana-de-açúcar (CASTRO; ANDRADRE, 2007).

Entre os açúcares presentes na cana-de-açúcar, a sacarose é o mais importante com teor médio no caldo de 18 – 24%. O rendimento econômico da cana-de-açúcar é dado pela produção de sacarose (componente mais valioso), além de outros açúcares não redutores utilizados para formar o melaço e a fibra, que pode ser utilizada como fonte de energia para a própria usina (DEMIATE et al., 2002).

A sacarose é uma substância conhecida desde o ano 200 a.C. É o carboidrato de baixa massa molecular mais abundante (STRONG, 1954) com fórmula química $C_{12}H_{22}O_{11}$. É manufaturado em larga escala por diversos países, principalmente para usos alimentares, pois é um alimento natural e amplamente utilizado como ingrediente.

É um dissacarídeo não redutor constituído de dois monossacarídeos, glicose e frutose, que estão ligados entre si através dos seus carbonos anoméricos conforme Figura 3. É largamente conhecido com o nome de açúcar e está distribuído em todo o reino vegetal, sendo o principal carboidrato de reserva de energia e material fundamental para a dieta humana (FERREIRA; ROCHA; SILVA, 2009).

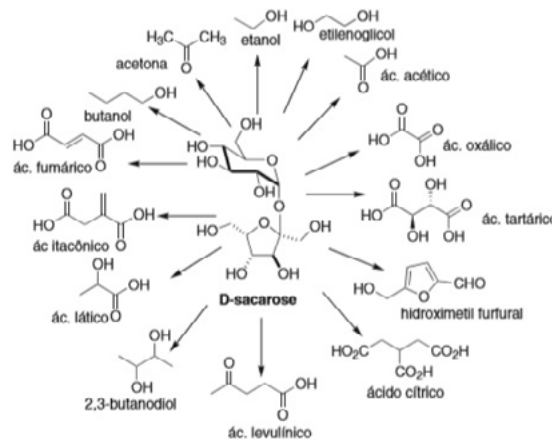
Figura 3 – Fórmula estrutural da sacarose.



Fonte: (FERREIRA; ROCHA; SILVA, 2009)

Existem muitos estudos da sacarose como matéria-prima para a produção de insumos para a indústria química e a produção de novos derivados com maior valor agregado (Figura 4) que tem despertado o interesse dos pesquisadores e de políticas específicas para este setor. Esse ramo da química é tão importante que passou a ser conhecido como sucroquímica, que é entendida como o ramo da ciência e da tecnologia cujo objetivo é acrescentar ao mercado novas utilizações da sacarose e seus derivados (KOLLONITSCH, 1970).

Figura 4 – Produtos químicos obtidos a partir da sacarose.



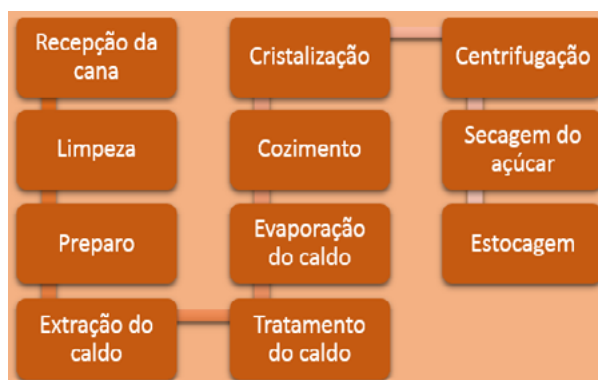
Fonte: (FERREIRA; ROCHA; SILVA, 2009)

3. Processo de produção do açúcar

A produção de cana-de-açúcar está inserida em área agrícola e industrial, 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. Já a produção do açúcar ou álcool apresenta elevado grau de complexidade, pois envolve equipamentos dos mais variados tipos e tamanhos, geração de energia e processos químicos e físicos (MACHADO, 2012).

O processo de fabricação de açúcar (Figura 5) visa, de forma resumida, à extração do caldo contido na cana, seu preparo e “concentração”, culminando com os vários tipos de açúcares conhecidos (MACHADO, 2012).

Figura 5 - Fluxograma do processo de produção de açúcar.



Fonte: (MACHADO, 2012)

No Brasil, o transporte da cana-de-açúcar até a usina é feito principalmente por caminhões e, chegando à usina, a cana-de-açúcar é enviada a uma mesa alimentadora na qual será lavada para retirada de impurezas como terra e sujeiras em geral (JESUS, 2004).

Após a lavagem, a cana-de-açúcar passa pelo processo de preparo com o objetivo de aumentar a eficiência da moagem e extração do caldo. Depois de lavada a cana-de-açúcar passa por diversas vezes na moenda, acrescenta-se água quente ao bagaço para aumento efetivo do processo de extração do caldo, dando origem ao caldo misto (ANDRADE; CASTRO, 2006; JESUS, 2004).

O caldo misto é obtido no processo de extração e, nessa etapa, o mesmo contém quantidades variáveis de impurezas em suspensão como resíduos de terra e bagacilho, os quais são provenientes da própria cana. O caldo misto é submetido a tratamento, sendo peneirado para eliminação dessas impurezas. Após peneirado, o caldo ainda contém pequenas impurezas podendo estar solúveis, insolúveis ou em estado coloidal, devendo receber tratamento químico, para coagular parte da matéria coloidal (ceras, graxas, proteínas, gomas, pectinas e corantes), precipitar certas impurezas (silicatos, sulfatos, ácidos orgânicos, Ca, Mg, K, Na) e modificar o pH (CASTRO; ANDRADE, 2006).

A etapa de evaporação tem por objetivo eliminar grande parte da água contida no caldo, concentrando-o e deixando o mesmo com valor de aproximadamente 65° Brix. Com esta porcentagem de açúcar, o caldo passa a ser denominado xarope. O Xarope é uma mistura de soluções de açúcares obtidos pela hidrólise da sacarose que é transferido para a próxima etapa do processo em que ocorre o início da cristalização (CASTRO; ANDRADE, 2006; MEZAROBA; MENEGUETTI; GROFF, 2010).

O xarope resultante dos evaporadores é então enviado para os cozedores que, através do vapor, leva o xarope à supersaturação tomando consistência de mel, que após crescerem e aumentarem o tamanho da massa cozida são transferidos aos cristalizadores. É nesta etapa que começa a se formar cristais de açúcar (CASTRO; ANDRADE, 2006; CASTRO; ANDRADE, 2007).

O processo de cristalização é uma das últimas etapas do processo de fabricação do açúcar e podem ser utilizados cristalizadores descontínuos com agitação, que são cristalizadores mais simples e o cristalizador a vácuo que submete o caldo a um abaixamento da pressão e simultâneo resfriamento, ocorrendo a evaporação do solvente e conseqüente aumento da concentração do soluto (SANTOS *et al.*, 2019; MEZAROBA; MENEGUETTI; GROFF, 2010; ALCARDE, 2007).

Após a cristalização, a massa cozida é centrifugada numa operação que consiste basicamente na separação do melaço que envolve a separação dos cristais de açúcar. A cristalização é a formação inicial de cristais de açúcar, no qual o xarope clarificado com 65 a 70° Brix é concentrado para a cristalização da sacarose até adquirir 85 a 95° Brix, obtendo consistência sólida, denominada de “massa cozida”, que contém sacarose cristalizada ou cristalizável juntamente com o licor-mãe (mel residual). Nesta etapa, ocorre o processo de nucleação, sendo que o mel é totalmente separado por turbinagem (centrifugação) dos pequenos cristais puros de sacarose. Durante a turbinagem, é necessária a lavagem dos cristais com água, para a redução do filme de mel que envolve os cristais, de modo a dar a polarização desejada ao tipo de açúcar a ser produzido. É considerada uma etapa importante, pois afeta a obtenção de um produto de qualidade (PAYNE, 1989; CREMA, 2012).

A secagem do açúcar consiste basicamente na redução de sua umidade com resfriamento simultâneo a níveis que permitam sua armazenagem por períodos mais ou menos longos, sem apresentar alterações significativas de suas características, preservando assim sua qualidade (ALBUQUERQUE, 2009).

Após a secagem e resfriamento, o açúcar é enviado para silos e desses para as empacotadeiras e, posteriormente, armazenados para comercialização (CARPANEZI, 2010).

4. Controle de qualidade do açúcar

No Brasil, são comercializados vários tipos de açúcar, sejam eles na forma sólida ou líquida. O açúcar sólido comum é um composto orgânico cuja denominação química é sacarose. Ele pode ser produzido na forma cristal ou refinado, já o açúcar líquido invertido trata-se de um produto com o mesmo perfil de sabor e poder adoçante, por esses motivos, é altamente requisitado pelas indústrias produtoras de bebidas carbonatadas (MACHADO, 2012).

Os dois tipos de açúcar mais fabricados em escala industrial são o açúcar cristal branco e o açúcar demerara, porém outros tipos são fabricados (MACHADO, 2012).

Segundo a Instrução Normativa nº 47, de 30 de agosto de 2018 – IN nº 47, a classificação do açúcar é estabelecida em função dos seus requisitos de identidade e qualidade e o requisito de identidade do açúcar é definido pela espécie da matéria-prima da qual se originou. O açúcar normalmente é classificado em Grupos, Classes e Tipos, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de qualidade do açúcar do Grupo I.

CLASSE	TIPOS	PARÂMETROS					
		POLARIZAÇÃO (°Z min)	UMIDADE (% máx.)	COR UCUMSA (IU máx.)	CINZA CON. (% máx.)	PONTOS PRETOS (n°/100gmáx.)	PARTÍCULAS MAGNETIZÁVEIS (mg/Kg máx.)
CRISTAL BRANCO	CRISTAL	99,5	0,10	300	0,10	20	15
	REFINADO AMORFO OU REFINADO	99,0	0,30	100	0,20	5	5

CLASSE	TIPOS	PARÂMETROS					
		POLARIZAÇÃO (°Z min)	UMIDADE (% máx.)	COR UCUMSA (IU máx.)	CINZASCON. (% máx.)	PONTOSPRETOS (n°/100gmáx.)	PARTÍCULAS MAGNETIZÁVEIS (mg/Kg máx.)
CRISTAL BRANCO	REFINADO GRANULADO	99,80	0,05	60	0,04	5	5
	CONFEITEIRO	99,00	0,30	150	0,20	5	5
CRISTAL BRUTO	DEMERARA	96,00	1,20	5000	0,50	N/A	N/A
	VHP	99,00	0,25	2500	0,25	N/A	N/A
	VVHP	99,49	0,15	1000	0,15	N/A	N/A

VHP: (Very High Polarization); VVHP: (Very Very High Polarization) Sua cor é mais baixa e polarização um pouco mais alta que o VHP.

Fonte: BRASIL (2018)

É cada vez mais crescente a necessidade da indústria de açúcar brasileira em desenvolver e aprimorar os processos que levem a obtenção de produtos com melhor qualidade, tornando-os competitivos, de forma a atender as exigências do mercado interno e externo (HAMERSKI, 2009).

Como um produto alimentício, a qualidade do açúcar é orientada por legislações específicas que retratam características físico-químicas, microbiológicas, microscópicas e sensoriais (MACHADO, 2012).

As indústrias do ramo alimentício estão exigindo que o açúcar apresente padrões de qualidade físico-químicos e microbiológicos adequados às exigências de seus mercados, principalmente o de exportação. Para isso, é necessário o controle de qualidade desde a matéria-prima até o final da produção (MUTTON; MUTTON, 2005).

O controle físico-químico do açúcar se relaciona principalmente aos teores de sacarose ou polarização (pol), resíduos minerais fixo, dextrana, índice de cor (ICUMSA), teor de dióxido de enxofre, teor de umidade e teor de ferro (MACHADO, 2012).

As características microscópicas verificam a presença de materiais e/ou microrganismos estranhos perigosos ou não, derivados da colheita, produção, transporte, processamento, armazenamento e distribuição, enquanto a análise sensorial verifica o aspecto, cor, odor e sabor característico do produto (MACHADO, 2012).

Baseado na importância da qualidade de alimentos processados, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a conformidade do açúcar tipo cristal comercializado na região de Uberlândia-MG em relação aos padrões de qualidade físico-químicas estabelecidos pela legislação e/ou utilizados pela indústria açucareira.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Amostragem do açúcar

Foram analisadas 3 marcas de açúcar tipo cristal (Marcas A, B e C) comercializadas em Uberlândia-MG e região. As análises realizadas no açúcar tiveram como base as exigências das informações contidas na rotulagem e a IN n° 47 (BRASIL, 2018). As amostras foram coletadas em suas embalagens originais de 5 kg (fechadas) e então transferidas até o laboratório para análises posteriores.

2. Análises físico-químicas

Foram avaliados, em amostras de açúcar tipo cristal, cinzas condutimétricas, cor ICUMSA, polarização, resíduo insolúvel, umidade e granulometria. Para a execução das análises foi utilizada a metodologia da International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis - ICUMSA (2011). As análises foram realizadas em triplicata no Laboratório de Análises Físico-Química do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM)-Campus Uberlândia.

2.1 Cinzas condutimétricas

Para análise de cinzas condutimétricas, foram pesados 28 g das amostras em béquer de 250 mL e em seguida foi adicionado água deionizada até atingir um total de 100 g. Na sequência, a amostra foi homogeneizada e o condutivímetro foi calibrado com soluções de cloreto de potássio 0,001 e 0,01 mol/L. Foi realizada leitura da condutividade elétrica da água destilada, utilizada no preparo da solução, e da solução de açúcar para posterior cálculo das cinzas condutimétricas, conforme Equação 1.

$$\text{Cinzas (\%)} = k(C - 0,9 \times Ca) \quad \text{Eq (1)}$$

Sendo:

k- 10×10^4

C- Condutividade da solução em $\mu\text{S/cm}$ em 20°C

Ca- Condutividade da água em $\mu\text{S/cm}$ em 20°C

2.2 Cor ICUMSA

A cor ICUMSA foi determinada por espectrofotômetro com leituras da absorbância a 420 nm. Foi pesado cerca de 50 g da amostra e adicionado 50 mL da solução tampão trietanolamina/ácido clorídrico (TEA/HCl). A solução foi agitada em agitador magnético até a completa dissolução do açúcar e, posteriormente, filtrada para leitura de sólidos solúveis (°Brix) em refratômetro digital portátil modelo PAL-1. O resultado da leitura foi multiplicado pelo fator de correção 0,989, conforme especificado pela metodologia e, em seguida, obtida a concentração da sacarose disposta em tabela que correlaciona a concentração da sacarose em função do °Brix. Após esta etapa foi feita a leitura da absorbância da amostra em cubeta de 3 cm, na faixa de 420 nm e, posteriormente,

foram realizados os cálculos para obtenção da cor ICUMSA, conforme Equação 2.

$$\text{Cor ICUMSA (IU)} = 1000 \times A / b \times c \quad \text{Eq (2)}$$

Sendo:

A – Absorbância da solução em 420 nm

b - espessura da cubeta em cm

c – concentração da solução em g L⁻¹

2.3 Polarização

Para determinação da polarização (°Z) pesou-se 26 g da amostra que foram transferidas para balão volumétrico de 100 mL, utilizando-se água destilada. O balão foi colocado em banho-Maria termostatizado a 20°C e em seguida a solução foi filtrada. Para realização da leitura do filtrado, foi utilizado o tubo do polarímetro de 200 mm. Ao transferir a solução para o tubo, teve-se o cuidado de não se obter a formação de bolhas, pois elas interferem na correta leitura do equipamento. Os cálculos deste parâmetro foram realizados utilizando-se a Equação 3.

$$\text{Sacarose por cento (m/m)} = L \times 100 / 34,62 \quad \text{Eq (3)}$$

Sendo:

L – Leitura no polarímetro

2.4 Resíduo insolúvel

Para análise de resíduo insolúvel foram pesados 100g de açúcar que foram dissolvidos em 200 mL de água destilada. A amostra foi homogeneizada e realizou-se a filtração à vácuo. O filtro com os insolúveis foi levado para estufa a 105°C até peso constante. A amostra seca foi pesada para realização dos cálculos (Equação 4).

$$\text{Resíduos insolúveis} = \frac{\text{massa após a estufa} \times 100}{\text{massa do açúcar}} \quad \text{Eq(4)}$$

2.5 Umidade

A umidade das amostras de açúcar cristal foi obtida por secagem em estufa. Para esta análise pesou-se 10 g da amostra em cadinho previamente tarado e em seguida a amostra foi seca em estufa por 2 horas a 105°C.

2.6 Granulometria

A determinação da granulometria das amostras de açúcar cristal foi realizada utilizando peneiras de numeração 10, 16, 20, 40, 100 e 200, com o tamanho da malha correspondente a 2,0 mm, 1,19 mm, 0,85 mm, 0,42 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, colocadas em sequência, da maior abertura para a menor. Pesou-se 100 g de açúcar cristal que foram colocados na primeira peneira, sendo realizado vibração do sistema (peneiras) por 5 minutos. Após o período estabelecido foi feita a pesagem de cada peneira. A diferença entre o peso inicial e final indicou a massa retida, possibilitando o cálculo da granulometria das amostras analisadas.

Os resultados analíticos foram apresentados como a média seguida do desvio padrão para todas as análises realizadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de açúcar cristal branco tipo 1 foram avaliadas quanto aos parâmetros cinzas condutimétricas, cor ICUMSA, polarização, resíduo insolúvel, umidade e granulometria e os resultados experimentais foram comparadas com IN n°47 (BRASIL, 2018). A Tabela 2 mostra a média dos resultados experimentais das amostras avaliadas e os valores mínimos e máximos estabelecidos pela legislação.

Tabela 2 – Média e desvio padrão dos resultados experimentais e os limites estabelecidos pela legislação.

Análise Físico-química de Açúcar Cristal				
Parâmetros	Marca A	Marca B	Marca C	BRASIL, 2018
Umidade (%)	0,08 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01	< 0,1
Cor (IU)	343,00 ± 8,60	421,33 ± 4,42	295,00 ± 6,87	< 300
Polarização (°Z)	93,93 ± 0,58	91,33 ± 0,76	97,47 ± 0,73	>99,5
Cinzas (%)	0,06 ± 0,00	0,06 ± 0,00	0,08 ± 0,00	< 0,1
Resíduos insolúveis (mg.kg ⁻¹)	1363,67 ± 30,37	1445,67 ± 55,05	1136,67 ± 19,06	-

O açúcar é considerado um produto alimentício estável com pouca atividade de água e baixa umidade e, de acordo com as amostras avaliadas nesse estudo, os resultados mostraram que todas as amostras estão dentro dos padrões de umidade estabelecidos pela instrução normativa, máximo de 0,10% para o açúcar cristal branco tipo I. A amostra A apresentou numericamente maior umidade que as amostras B e C, o que possivelmente pode ter sido resultado do processo de secagem, pois é nele que é retirado a umidade do açúcar (MACHADO, 2012), mas o resultado encontra-se dentro do especificado pela legislação. Embora as embalagens não façam qualquer menção sobre a umidade ela é importante, posto que influencia no tempo de armazenamento e conservação do açúcar.

Metello, Cortes e Cabanha (2018) realizaram análises de umidade e resíduo mineral em amostras de açúcar cristal e refinado, adquiridos nos mercados da cidade de Campo Grande- MS, e os resultados encontram-se dentro dos padrões estipulados pela Instrução Normativa n° 42 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, o que também foi verificado nesta pesquisa quanto ao parâmetro umidade.

A cor do açúcar está entre as variáveis mais importantes para os compradores e, com relação a esse parâmetro, as amostras A e B se encontraram fora do padrão especificado na normativa com o valor máximo de 300 IU, estendendo-se para 400 IU somente para amostras orgânicas, o que não foi objeto deste estudo. O Processo de clarificação do açúcar inicia-se no tanque de clarificação com adição dos produtos químicos como o leite de cal e anidrido sulfuroso para branqueamento do melado de cana, que pode influenciar diretamente na cor do

produto final (MACHADO, 2012). O tempo e a temperatura de processamento podem não ter sido ideais para que o produto final atendesse à legislação quanto a este parâmetro. No entanto, é ideal que as usinas responsáveis pela produção façam sempre um controle de qualidade mais rígido do processo.

Apenas a mostra C apresentou cor ICUMA dentro do valor especificado. Apesar de não se ter uma correlação direta da cor com outros componentes físicos e químicos presentes no açúcar, sempre se associa uma menor cor a uma melhor qualidade do produto (OLIVEIRA et al. 2007).

Quanto ao parâmetro polarização, todas as amostras analisadas ficaram fora da especificação, após correção do resultado para temperatura de 20°C, conforme estabelecido a legislação. A polarização é considerada o item que define a porcentagem de sacarose no açúcar, sendo exigido pela legislação no mínimo 99,5°Z para ser considerado um produto de elevada pureza, sendo similar até mesmo a alguns produtos farmacêuticos (OLIVEIRA et al. 2007).

A polarização pode ser influenciada por condições criadas a partir do recebimento da matéria-prima para extração, conforme sua composição, de acordo com a variedade da cana-de-açúcar e pelo processo de clarificação (MACHADO, 2012). Se a matéria-prima não atende aos parâmetros de qualidade exigidos para o processamento ou se há perdas na recepção e/ou cozimento, embora todas as demais etapas do processo tenham sido realizadas de forma padronizada, o produto final – açúcar – não atenderá aos parâmetros exigidos pela legislação.

Cinzas condutimétricas representam a quantidade de compostos inorgânicos presentes no açúcar e remanescentes após incineração completa dos compostos orgânicos. Segundo Lopes e Borges (2004) para uma melhor qualidade do açúcar, é importante que a cana-de-açúcar tenha baixo teor de cinzas, pois altos teores conferem sabor desagradável ao produto. A legislação prevê que a quantidade máxima seja de 0,10%, sendo verificado que todas as amostras se encontraram dentro do limite máximo estabelecido pela normativa.

Segundo Lopes e Borges (2004), para uma melhor qualidade do açúcar, é importante que a cana-de-açúcar tenha baixo teor de cinzas, pois altos teores conferem sabor desagradável ao produto

Segundo Oliveira et al. (2007) partículas insolúveis devem variar entre 10 a 60 mg/kg nos diferentes tipos de açúcar, embora a normativa não determine limite para este parâmetro. Partículas insolúveis presentes no açúcar são identificadas como: partículas minúsculas de bagaço de cana, sílica, sais minerais, gomas, partículas magnetizáveis, açúcar carbonizado, entre outras. Os resultados encontrados nesta pesquisa, em todas as amostras, ultrapassaram a faixa estipulada pelo referido autor em valor muito superior, indicando, portanto, a necessidade de que esta análise seja revista na legislação. No próprio papel de filtro que foi utilizado para a filtração dos resíduos insolúveis era visível a grande quantidade de resíduos existentes.

A análise de granulometria também não é exigida pela normativa que rege a regulamentação técnica do açúcar, mas é utilizada para controle do tamanho médio

do cristal e sua uniformidade. A não uniformidade pode refletir na calibração dos sistemas dosadores, a higroscopicidade e a dosagem estabelecida para dulçor final. Segundo Oliveira et al. (2007), a abertura média (AM) da peneira deve ser de 0,5 a 0,8 mm, estando as amostras A e B com 74% e 56% de massa, respectivamente, retidas na peneira de 0,42 mm (AM) enquanto a amostra C reteve 58% da massa na peneira de 0,85 mm AM, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Porcentagem de grãos de açúcar em cada peneira.

Análise Granulometria em porcentagem						
Amostras/ Peneiras (mm)	2,0	1,19	0,85	0,42	0,15	0,075
Marca A (%)	0	1	20	74	5	0
Marca B (%)	0	1	39	56	4	0
Marca C (%)	0	1	58	38	3	0

As amostras de açúcar encontram-se de acordo com o previsto para abertura média da peneira. No geral, a produção de açúcar possui granulometria controlada apenas para atender segmentos específicos do mercado, pois a granulometria tem maior impacto nos produtos de mistura sólida como refrescos em pó e coberturas em geral como de bolo e biscoitos (OLIVEIRA et al, 2007).

Conforme verificado na Tabela 3, as marcas A e B apresentaram maior retenção do açúcar na malha de 0,42 mm, respectivamente, 74 e 56 %, apresentando, portanto, menor granulometria que a amostra C. Nesta amostra, C, a maior retenção dos cristais de açúcar foi em peneira de maior abertura (0,85 mm), com um total de 58% da amostra retida.

Jambassi (2017) avaliou aspectos da qualidade do açúcar em relação aos impactos de diferentes condições de armazenamento e método de classificação e verificou que, com base nos resultados obtidos, o binômio tempo/temperatura interfere na estabilidade das amostras de açúcares durante o período de armazenamento, portanto valores indesejáveis de alguns parâmetros como a cor e a polarização podem estar relacionados ao período de armazenamento, o que não foi objeto de estudo nesta pesquisa.

Verificou-se que praticamente não há na literatura pesquisas sobre avaliação da qualidade de açúcar tipo cristal, diferentemente de outros tipos de açúcar como o demerara, orgânico e mascavo, que têm um menor consumo no mercado, portanto a necessidade de mais atenção quanto aos parâmetros de qualidade de produtos consumidos em larga escala.

CONCLUSÕES

As marcas A, B e C, de açúcar cristal analisadas, apresentaram os parâmetros umidade e cinzas em conformidade com a legislação. Para cor e polarização, os resultados experimentais foram próximos aos parâmetros estabelecidos na IN nº 47, mas não totalmente adequados.

A cor para as amostras A e B e os resíduos insolúveis para todas as amostras analisadas ficaram fora do padrão estabelecido pela legislação.

O açúcar da marca C, comercializado e produzido regionalmente, foi o que apresentou a melhor qualidade comparativamente às demais marcas analisadas.

Todas as usinas produtoras de açúcar devem se atentar para o parâmetro resíduos insolúveis, já que todas as amostras avaliadas apresentaram resultado muito elevado para este parâmetro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Triângulo Mineiro- Campus Uberlândia pela estrutura física e reagentes para o desenvolvimento desta pesquisa e ao técnico de laboratório Eduardo Santos Almeida pelo auxílio em todas as etapas de realização das análises físico e químicas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. M. **Processo de fabricação do açúcar**. Recife: Ed. UFPE, 2009. p. 275.
- ALCARDE, A.R. **Processamento da Cana de Açúcar**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2015. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_108_22122006154841.html. Acesso em 01/07/2020.
- ANJOS, I.A.; SILVA, D.N.; CAMPANA, M.P.; **Cana-de-açúcar como forrageira**. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (ed) **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. p. 725-745.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 47. 2018. **Regulamento Técnico do açúcar**. Brasília, 30 de agosto de 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/39939558/do1-2018-09-06-instrucao-normativa-n-47-de-30-de-agosto-de-2018-39939440. Acesso em: 20 set. 2020.
- CARPANEZI, E. L. **Relatório interno da refinaria**: processos. Guapiaçu: Usina Guarani, 2010. 44 p.
- CASTRO, S. B. de; ANDRADE, S. A. C. **Engenharia e Tecnologia Sucrialcooleira**. Pernambuco: Editora Universitária UFPE, 2006. p. 249.
- CASTRO, S. B. C.; ANDRADE, S. A. C. **Tecnologia do açúcar**. 1 ed. Recife, Editora Universitária UFPE, 2007.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira, cana-de-açúcar**: v.5 – Safra 2018/19 N.4 : Quarto levantamento. Brasília. Abril 2019, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar?start=10>. Acesso em: 20 ag 2021.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil**, Edição para a safra 2008-2009. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-producao/perfil-do-setor-sucroalcooleiro-2008-2009-conab.pdf>. Acesso em: 30 set. 2020.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira, cana-de-açúcar**. VII. – Safra 2020/21 N.3 – Terceiro levantamento, Brasília. Dezembro, 2020. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- CREMA, L.C. **Clarificação por flotação com ar dissolvido (FDA) da calda de açúcar cristal para produção de açúcar refinado**. 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho", *Campus* São José do Rio Preto. São José do Rio Preto, SP, 2012.
- DEMIATE, I. M.; WOSIACKI, G.; CZELUSNIAK, C.; NOGUEIRA, A. Determinação de açúcares redutores e totais em alimentos. Comparação entre método colorimétrico e titulométrico. Publicatio UEPG – **Ciências exatas e da terra, C. Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, PR, v. 8, n.1, p 65-78, 2002.
- FERREIRA, V. F.; ROCHA, D. R. da; SILVA, F. de C. da. Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 32, n.. 3, p. 623-638, 2009.
- HAMERSKI, F. **Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar**. 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) -Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2009.
- INTERNATIONAL COMMISSION FOR UNIFORM METHODS OF SUGAR ANALYSIS – ICUMSA. **Methods book**. Published by Verlag Dr. Albert Bartens KG. Lückhoffstr: Berlin, Germany, 2011.
- JESUS, C.D.F de. **Validação da simulação dinâmica das etapas de evaporação e cristalização da produção de açúcar com dados obtidos em plantas industriais**. 2004. 214f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) – Programa de Doutorado em Ciências Exatas e da Terra da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/3885>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- KOLLONITSCH, V. **Sucrose Chemicals, International Sugar Research Foundation**, Washington: [s.n.], 1970. 256 p.
- JAMBASSI, J.R. **Aspectos da qualidade do açúcar**: impactos de diferentes condições de armazenamento e método de classificação por espectroscopia Raman. 2017. 14 f. Dissertação (Mestrado em Ciências-Área de Concentração Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba (SP), 2017.

- LEVI, E. R. **Análise do mercado e estimação das demandas de cana-de-açúcar, açúcar e etanol brasileiro**. 2009. 57 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Petróleo), Curso Superior em Engenharia de Petróleo - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- LOPES, C. H.; BORGES, M. T. M. R. **Proposta de normas e especificações para açúcar mascavo, rapadura e melado de cana**. DTAISER. Centro de Ciências Agrárias – São Carlos (S): Universidade de São Carlos, 2004.10 p.
- MACHADO, S. S. **Tecnologia da Fabricação do Açúcar**. Inhumas IFG; Santa Maria: Ed. Universidade Federal de Santa Maria, 2012. p. 15-16; p.49-52
- MANTELATTO, P. E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose de cana-de-açúcar por resfriamento**. 2005. 272 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos (SP), 2005.
- METELLO, D.F. N.; CORTES, E.C.; CABANHA, G.G. Comparação de Resultados dos Padrões de Umidade e Resíduo Mineral Fixo em Açúcares Cristal e Refinado. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 03, ed. 07, v. 06, p. 56-62, 2018.
- MEZARROBA, S.; MENEGUETTI, C.C.; GROFF, A.M. Processos de produção do açúcar de cana e os possíveis reaproveitamentos dos subprodutos e resíduos resultantes do sistema. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, 4., 2010, Campo Mourão (PR). **Anais [...]**. Campo Mourão: FECILCAN, 2010.
- MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C.F.M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V; SENE, A.P. de ; JENDIROBA, E.; MUTTON, M.J.R.; MUTTON, M.A. **Identificação de perdas de açúcares no setor agrícola**. Piracicaba: ESALQ, 2006. p. 11-18.
- MUTTON, M. J. R; MUTTON, M. A. Identificação de perdas de açúcares no setor agrícola. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba (SP): v. 23, n. 4, p. 42-46. 2005.
- OLIVEIRA, D. T.; ESQUIAVETO, M. M. M.; SILVA JÚNIOR, J. F. Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia. **Cienc. Tecnol. Aliment.** Campinas, p. 99-102. 2007.
- PAYNE, J.H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana**. Tradução Florenal Zarpelon. São Paulo: Nobel S.A., 1989.
- RODRIGUES, D.; ORTIZ, L. **Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil**, 2006, 37 p. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/cana4_000g7qv63sq02wx5ok0wtedt3xughe7o.pdf. Acesso em: 20 abr. 2021.
- SANTOS, A.S dos.; VICENTE, A. P.; SILVA, E.B da.; OLIVEIRA, D.R.; VALEIRO, A.A.; CABRERA, A.M.; OLIVEIRA, F.A de. Aplicação do processo de cristalização na formação dos cristais de açúcar. **Revista Científica Multidisciplinar: Núcleo do Conhecimento**, ano 04, ed. 08, v. 04, p. 66-78. 2019.
- SENA, J de.; ARAÚJO JÚNIOR, J.B.; RAMOS, S.; SILVA, V.F de. **O processo de decadência dos engenhos de rapaduras na região de bananeiras e seus impactos sócio-econômicos -1970-1989**. 2014. 47f. Trabalho de Conclusão de Cursos (Licenciatura em História), Departamento de Ciências Humanas , UNEB *Campus IV* - Jacobina (BA), 2014.
- STRONG, L. A. G. **The Story of Sugar**. Londres: Academic Press, 1954.
- UDOP Energia que inova. União Nacional da Bioenergia. 2021. Disponível em: <https://www.udop.com.br/producao-brasileira>. Acesso em: 03 maio 2021.