

# IMPACTO DA CELULOSE BACTERIANA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM SORVETE COM TEOR DE GORDURA REDUZIDO

Data de submissão: 07/07/2023

Data de aceite: 01/08/2023

### **Aline Soares Cascaes Teles**

Embrapa Agroindústria de Alimentos  
Rio de Janeiro – RJ  
[orcid.org/0000-0003-2627-0183](http://orcid.org/0000-0003-2627-0183)

### **Isabelle Arcanjo Bragança**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/8522424925938133>

### **Pedro Mesquita**

Universidade Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/9476702651127304>

### **Davy William Hidalgo Chávez**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro – RJ  
[orcid.org/0000-0003-4319-1962](http://orcid.org/0000-0003-4319-1962)

### **Ana Carolina Sampaio Doria Chaves**

Embrapa Agroindústria de Alimentos  
Rio de Janeiro – RJ  
<https://orcid.org/0000-0002-8552-4983>

voltadas para a redução do teor de gordura e de açúcar. No entanto, a gordura tem um papel vital no sabor, estrutura e textura e está associada à resistência ao derretimento do sorvete. Nesse sentido, a celulose bacteriana (CB) apresenta excelente potencial para substituição, ao menos parcial de gordura em sorvetes. Diante do exposto, o objetivo principal do presente estudo foi avaliar o efeito da substituição da gordura por BC no derretimento e no *overrun*. Para avaliar a resistência ao derretimento, um novo modelo matemático foi proposto para analisar o efeito do BC nas propriedades tecnológicas do sorvete. Diferentes concentrações de BC (0,05 - 0,5%) foram usadas para substituir a gordura (0 - 10%) usando um planejamento experimental fatorial  $2^2$  com ponto central e otimização adicional pela função de desejabilidade para maximizar o *overrun* e minimizar o tempo para atingir a fusão máxima ( $X_0$ ). Isto resultou em uma formulação com 8% de gordura e 0,5% BC. O modelo matemático proposto para avaliar a resistência de fusão apresentou um ajuste alto ( $R^2 > 0,97$ ) e foi eficiente em elucidar parâmetros importantes não comumente avaliados na literatura, como o tempo necessário para atingir a taxa máxima de

**RESUMO:** O sorvete é um dos alimentos mais consumidos em todo o mundo e, em geral, possui um alto teor de gordura e açúcar. Por isso muitas pesquisas estão

derretimento ( $X_0$ ), por exemplo. Com relação ao delineamento experimental, foi possível perceber que as maiores concentrações de BC resultaram em aumento do *overrun*, mas não diminuíram a taxa de derretimento. Na região ótima, o sorvete apresentou um *overrun* cerca de duas vezes maior, mas não se observou aumento significativo na resistência ao derretimento. Esses resultados podem contribuir tanto para a avaliação de novos parâmetros durante o derretimento do sorvete quanto para o desenvolvimento de novas formulações de sorvetes com teor reduzido de gordura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade do sorvete; novas tendências em sorvete; sorvete com redução de gordura; modelagem matemática; derretimento.

## IMPACT OF BACTERIAL CELLULOSE ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF A LOWFAT ICE CREAM

**ABSTRACT:** Ice cream is one of the most consumed foods worldwide, and in general, it has high amounts of fat and sugar. Therefore, many researchers are working to reduce the fat content. However, fat has a vital role in the flavor, structure, texture and it is associated with its resistance to melt. In this sense, the biopolymer bacterial cellulose (BC) has excellent potential for partial fat replacement in ice cream. Given the above, the main objective of the present study was to evaluate the effect of replacing fat with BC on the melting rate and in the overrun. To evaluate melting resistance, a new mathematical model was proposed to analyze the effect of BC on ice cream properties. Different concentrations of BC (0.05 – 0.5%) were used to replace fat (0 - 10%) using a  $2^2$  factorial experimental design with a central point, with subsequent further optimization by desirability function to maximize the overrun and minimize the time to reach maximum melt rate ( $X_0$ ). It results in a formulation with 8% fat and 0.5% BC. The mathematical model proposed to evaluate the melting resistance presented a high fit ( $R^2 > 0.97$ ) and was efficient in elucidating important parameters not commonly evaluated in the literature, such as the time required to reach the maximum melting rate ( $X_0$ ), for example. Regarding the experimental design, it was possible to notice that the higher concentrations of BC improved the overrun, but did not have the same effect on melting rate. In the optimal region, the ice cream showed around two times greater overrun, but without a significant increase in the melt resistance. These results can contribute both to the evaluation of new parameters during ice cream melting and to the development of new ice cream formulations with reduced fat content.

**KEYWORDS:** Ice cream quality; new trends in ice cream; reduced-fat ice cream; mathematical modeling; melting.

## 1 | INTRODUÇÃO

O sorvete é um dos alimentos mais apreciados e consumidos no mundo todo e, em geral, possui elevado teor de gordura, que varia de 10 a 16% (Akbari, 2019; Goff & Hartel, 2013). O sorvete, por suas características sensoriais únicas e ampla apreciação mundial, apresenta um grande potencial para expansão no mercado brasileiro. No entanto, o consumo *per capita* no Brasil ainda é relativamente baixo, em torno de 5,4 litros por ano, quando comparado aos países nórdicos da Europa, EUA, Austrália e Nova Zelândia, onde

o consumo *per capita* fica ao redor de 30 litros. O consumo sazonal de sorvete no Brasil, a associação com o calor é um dos principais fatores que impactam o consumo, que é muito concentrado no verão. Além disso, em geral, os consumidores brasileiros consideram o sorvete como uma indulgência ou uma sobremesa, negligenciando seu valor nutricional (ABIS, 2021).

O sorvete é um produto complexo, composto por vários ingredientes em diferentes estados físicos. A gordura se apresenta na forma de emulsão, enquanto a proteína, estabilizantes e açúcares insolúveis estão em suspensão coloidal. A lactose e os sais encontram-se dissolvidos na água, que pode estar no estado líquido como solvente de sais e açúcares, bem como no estado sólido como cristais de gelo (Early, 2000).

De acordo com a RDC N° 713, de 1° de julho de 2022 gelados comestíveis, são definidos como “produtos congelados, obtidos a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas; ou de uma mistura de água e açúcar(es)”. Os gelados comestíveis podem ser adicionados de outro(s) ingrediente(s) desde que não descaracterize(m) o produto.”

Conforme estabelecido pela Resolução RDC N° 266 (BRASIL, 2005), que foi revogada pela RDC N° 713/2022, os gelados comestíveis podem ser categorizados com base em sua composição básica em quatro tipos principais: Sorvete de Creme; Sherbets; Sorbets e Gelados. Além disso, a classificação também pode ser realizada de acordo com o processo de fabricação, diferenciando-os em (1) sorvetes de massa ou cremosos, que resultam de misturas homogêneas ou não de ingredientes alimentares, batidas e congeladas para formar uma massa aerada; e (2) picolés, que são porções individuais, frequentemente suportadas por uma haste, obtidas por congelamento de misturas homogêneas ou não de ingredientes alimentares, com ou sem batimento/aeração.

O sorvete é considerado como uma emulsão, suspensão, espuma e mistura, simultaneamente. Na estrutura existem glóbulos de gordura parcialmente coalescidos, bolhas de ar, cristais de gelo, proteínas e/ou hidrocolóides uniformemente dispersos em uma solução concentrada, conhecida como sêrum. Nessa solução, encontram-se dissolvidos os açúcares, as proteínas solúveis e os minerais. É interessante notar que, em sorvetes de alta qualidade, o sêrum permanece líquido mesmo após o congelamento final do produto. As bolhas de ar presentes são envolvidas por cristais de gelo, cristais de lactose e glóbulos de gordura individuais e/ou parcialmente fundidos (Marshall et al., 2003).

Segundo Goff e Hartel (2013), nos sorvetes de base láctea, as proteínas do leite que têm capacidade emulsificante, auxiliam na interação entre os componentes hidrofóbicos e hidrofílicos da mistura. A presença dos ingredientes do sorvete nas proporções adequadas, com ou sem aditivos, associada às etapas corretas de processamento garantem uma coesão uniforme entre todos os ingredientes que compõem o sorvete.

Em relação ao processamento dos sorvetes, há três etapas fundamentais: (1) mistura dos ingredientes e pasteurização, (2) congelamento com incorporação de ar,

que em geral, ocorrem simultaneamente e (3) congelamento final, etapa chamada de endurecimento, na qual ocorre o congelamento final do produto já embalado (na embalagem final na qual ele será comercializado), produto deve ser armazenado em câmaras com temperaturas entre -30 a -45 °C (Marshall et al., 2003).

Durante a etapa de congelamento/aeração é obtida a consistência do sorvete, entretanto, o endurecimento final ocorre durante o congelamento, que deve ser realizado em seguida. A principal etapa para manutenção da estrutura final do sorvete é o congelamento e, portanto, o produto deve ser mantido congelado para garantir a estabilidade da emulsão formada. O produto final pode ter diferentes formatos: picolé que é sólido ou sorvete de massa que é pastoso (Goff, 2016).

Quanto mais rápido for o congelamento, melhor será a qualidade do produto, pois, no congelamento rápido são formados cristais de gelo menores e, conseqüentemente, a textura final será mais suave. A flutuação da temperatura durante armazenagem, transporte e/ou distribuição do sorvete faz com que a água, que não estava completamente congelada, se deposite nos cristais de gelo já existentes, aumentando assim o tamanho e ocasionando defeito chamado de arenosidade (Marshall et al., 2003).

Além das etapas de produção do sorvete, os ingredientes também são extremamente importantes para a sua qualidade final. Nesse sentido, um sorvete de base láctea poderá, por exemplo, ser composto por água, leite, açúcar, gordura, emulsificantes e espessantes. Mas, cabe ressaltar que em quase todo processamento industrial de sorvete se utiliza uma mistura comercial de estabilizantes em concentração variando de 0,1 a 0,5%. A mistura comercial de estabilizantes, em geral, é composta por um conjunto de diferentes emulsificantes e espessantes (Marshall e Arbuckle, 2000).

Os espessantes são compostos que se ligam à água, evitando o aumento do tamanho dos cristais de gelo, cristais de gelo maiores resultam em arenosidade. Os espessantes mais utilizados em sorvete são os carragenatos (utilizados na faixa de 0,05 a 0,1%), alginatos, gomas e/ou gelatina (de 0,3 a 0,5%). A carboximetilcelulose (CMC) é muito utilizada, em concentrações variando de 0,1 a 0,25%, normalmente é combinada com carragenato em concentração variando de 0,01 a 0,02% (Marshall e Arbuckle, 2000).

Os emulsificantes são muito utilizados, pois, promovem a ligação entre os componentes hidrofóbicos e hidrofílicos da mistura. Os emulsificantes garantem uma boa incorporação de ar durante o batimento/congelamento da mistura, aumentando assim o rendimento e conferindo consistência aerada, característica do produto. Dentre os emulsificantes, os monos e os di-glicerídeos são os mais utilizados, eles atuam diminuindo a tensão superficial, formando uma emulsão estável. Os monos e di-glicerídeos de ácidos graxos são largamente utilizados pela indústria de alimentos como emulsificantes em diferentes produtos industrializados (Marshall e Arbuckle, 2000).

Embora os emulsificantes e estabilizantes utilizados na indústria sejam de extrema importância para diversas propriedades dos sorvetes, especialmente as físicas e sensoriais,

há uma forte tendência na redução desses aditivos. Além disso, foi observado que alguns estabilizantes como o polissorbato 80, podem causar câncer colorretal (CHASSAING et al., 2015). Diante desses fatores há uma grande demanda por aditivos naturais que propiciem as mesmas características físicas e sensoriais aos sorvetes.

Além da demanda supracitada, a exigência dos consumidores por alimentos mais saudáveis tem impulsionado novas tendências na produção de sorvetes como os veganos, orgânicos, *gourmet*, funcionais, com redução de açúcar, aditivos e gordura (IDFA - International Dairy Food Association, 2017).

Ainda sobre as tendências em sorvetes, cabe destacar a redução do teor de gordura que está associado à uma maior saudabilidade, pois o consumo excessivo de gordura está ligado à diversas doenças metabólicas como os altos níveis de colesterol no plasma, obesidade e as cardiopatias, por exemplo (CHEN et al., 2019). Entretanto, a redução do teor de gordura é algo extremamente difícil em alimentos como o sorvete, pois esse ingrediente influencia suas principais características físicas e sensoriais. Desse modo, a gordura garante a textura suave do sorvete após o endurecimento, a retenção da forma após o congelamento, a secura e a resistência ao derretimento (GOFF, 2002). Portanto, para formular sorvetes com baixo teor de gordura é imprescindível criar estruturas similares e, nesse sentido, os principais substitutos têm sido os carboidratos ou proteínas. Entretanto, um carboidrato ou proteína sozinho não possui estabilidade frente ao congelamento-descongelamento, pH, tratamento térmico, etc. Portanto, outros substitutos têm sido avaliados e apresentam resultados positivos como substitutos em sorvetes, como a utilização da celulose bacteriana (CB) (GIBIS et al., 2017; YU et al., 2020).

A CB consiste em um biopolímero extremamente puro, livre de impurezas como lignina e pectina, produzida em meio de cultura com alta concentração de sacarídeos pela fermentação por *Komagataeibacter*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Rhodobacter* e *Acetobacter xylinum* (Ul-Isam et al., 2012). Este biopolímero pode ser classificado como uma fibra dietética insolúvel, não sendo digerida no intestino humano. A CB é “geralmente reconhecida como segura” (generally recognized as safe) de acordo com a *Food and Drug Administration* (FDA).

As aplicações da CB na área de alimentos ainda é relativamente nova, é um material promissor para o desenvolvimento de novos produtos devido às suas propriedades de interação com a água, estabilidade e formação de suspensão e, em comparação com as celuloses vegetais, possui alto potencial para estabilizar emulsões (Zhai et al., 2018). Diante dessas propriedades, a CB vem sendo avaliada e utilizada com sucesso como um ingrediente em sorvetes com teor reduzido de gordura para aumentar a resistência ao derretimento, modificar a textura e a viscosidade, além de auxiliar na retenção da forma durante o congelamento e/ou variações de temperatura, ou seja, todas as propriedades relacionadas à presença de gordura (Guo et al. 2018).

Além desses atributos, a CB não confere sabor, é estável a variação de pH, de temperatura e possui boa compatibilidade com matrizes proteicas (Blanco et al., 2018; Gama et al., 2016; Paximada et al., 2016).

Entretanto, a maior parte dos estudos que aplicam a CB para a substituição de gordura no sorvete utilizam também outros ingredientes, além de altas concentrações de CB o que pode tornar o produto final extremamente oneroso (GUO et al., 2018; XAVIER et al., 2021).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como principal objetivo a formulação de um sorvete com substituição parcial da gordura por CB.

## **2 | MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Material**

Para o preparo do sorvete foi utilizado: Leite em pó desnatado, água filtrada, gordura vegetal, glicose, açúcar, e estabilizante e emulsificante adquiridos no mercado, Rio de Janeiro, RJ. A CB foi fornecida pela empresa BioSmart Nanotechnology LDA.

### **2.2 Métodos**

#### *2.2.1 Processamento do sorvete*

O sorvete foi produzido segundo um delineamento estatístico que gerou as formulações que foram processadas e caracterizadas. Inicialmente os ingredientes foram pesados e misturados no liquidificador: água filtrada, leite, açúcar, glicose e gordura vegetal. Em seguida, essa mistura foi submetida à pasteurização a 90 °C por 5 minutos, seguida do resfriamento até atingir 70 °C para a adição dos demais ingredientes: CB, liga neutra e emulsificante. A mistura foi rigorosamente misturada com o restante dos ingredientes, sendo em seguida submetida à etapa de maturação realizada a 4 °C durante 18 horas.

Após a maturação, a calda foi colocada na sorveteira pré-refrigerada (-30 °C), submetida ao congelamento e batimento simultâneos. Essa etapa do processamento dura cerca de 60 minutos. O sorvete recém-preparado foi colocado em potes de 120 ml (para análises de derretimento).

#### *2.2.2 Teste de derretimento*

O teste de derretimento foi realizado após 24 horas de congelamento, segundo Granger et al. (2005) com modificações, em duplicata, utilizando amostras de 60 g de sorvete que foram submetidas ao derretimento (a 25 °C). A massa de sorvete derretida foi medida a cada 5 minutos até os 30 minutos e, após isso, a cada 10 minutos até o derretimento completo do sorvete.

### 2.2.3 Teste de incorporação de ar

O teste de incorporação de ar (*Overrun*) foi realizado segundo Marshall, Goff e Hartel (2003). A massa de um volume pré-definido de calda e de sorvete foram determinados e o *overrun* foi calculado por meio da Equação 1.

$$\text{Equação 1. \% Overrun} = \frac{\text{massa da calda} - \text{massa de sorvete} \times 100}{\text{massa de sorvete}}$$

### 2.2.4 Modelagem matemática do derretimento

Um modelo matemático (Equação 3) a partir de um modelo anterior (Equação 2) foi proposto para análise de alguns parâmetros importantes durante derretimento do sorvete. Para isso, foram utilizados dados obtidos por meio dos de um planejamento experimental (fatorial 2<sup>2</sup>) mencionado no item 3.2.

$$Y = Y_{\max} + \frac{Y_{\min} - Y_{\max}}{1 + \left(\frac{X}{X_0}\right)^P} \quad \text{eq. (2)} \quad \Rightarrow \quad Y = 100 - \frac{100}{1 + \left(\frac{X}{X_0}\right)^P} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

Y. representa uma variável de interesse como o crescimento microbiano, por exemplo;

$Y_{\min}$  e  $Y_{\max}$ . são o valor mínimo e máximo da variável de interesse;

P. representa a máxima taxa de crescimento;

X. é a variável independente, como o tempo, por exemplo;

$X_0$ . é o tempo necessário para atingir a máxima taxa de derretimento.

Adaptando a equação 2 para o caso do derretimento do sorvete:

$Y_{\min}$  e  $Y_{\max}$ . 0% y 100%, respectivamente.

Desse modo, conseguimos a equação 3.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Avaliação do comportamento do derretimento do sorvete

O comportamento durante o derretimento das diferentes formulações de sorvete (obtidas utilizando planejamento experimental fatorial 2<sup>2</sup>) foi avaliado por meio da adaptação de um modelo matemático (Equação 3) em que foi possível obter a taxa máxima de derretimento (P), o tempo de derretimento em que ocorreu a maior taxa ( $X_0$ ) e o tempo necessário para atingir 10% ( $T_{10}$ ), 20% ( $T_{20}$ ) e 30% ( $T_{30}$ ) de derretimento do sorvete (Tabela 1 e Figura 1).

Todos os modelos apresentaram valores de R<sup>2</sup> acima de 0,9 (0,98 a 0,99) e os parâmetros P e X<sub>0</sub> do modelo demonstraram ser significativos (p<0,05) em todas as formulações. A taxa máxima de derretimento teve valores próximos para todas as formulações, variando de 2,61 até 3,21. Entretanto, o tempo para atingir esta taxa máxima (X<sub>0</sub>) teve uma ampla faixa de variação desde 30,94 para a formulação sem gordura até 62,62 para a amostra com o maior conteúdo de gordura.

Ensaio	Gordura (%)	CB (%)	P	X <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>	T <sub>10</sub>	T <sub>20</sub>	T <sub>30</sub>
1	0	0,05	3,07	45,08	0,99	22,06	28,72	34,22
2	10	0,05	2,80	62,62	0,99	28,58	38,17	46,27
3	0	0,5	2,94	30,94	0,99	14,66	19,31	23,20
4	10	0,5	3,21	43,41	0,99	22,06	28,72	33,34
5	5	0,275	2,61	42,85	0,99	18,48	25,20	30,98
6	5	0,275	3,16	44,61	0,98	22,26	28,77	34,12
7	5	0,275	2,86	44,40	0,99	20,61	27,36	33,03

CB. celulose bacteriana, P. taxa máxima de derretimento, X<sub>0</sub>, tempo para atingir a taxa máxima. T<sub>10</sub>, T<sub>20</sub> e T<sub>30</sub> representam o tempo necessário para atingir o 10, 20 e 30 % de derretimento respectivamente.

Tabela 1. Resultados dos modelos matemáticos (P e X<sub>0</sub>, R<sup>2</sup>).

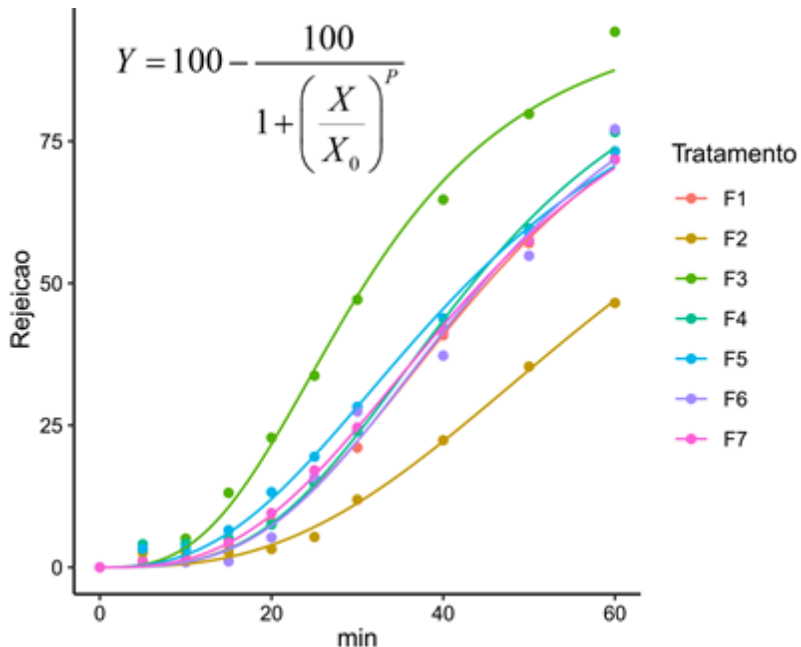


Figura 1. Perfis de derretimento das formulações de sorvete com diferentes níveis de substituição de gordura por celulose bacteriana.



Esses resultados demonstram que o modelo matemático empregado no presente trabalho pode ser utilizado para obtenção de diferentes respostas a respeito do comportamento no derretimento do sorvete, pois, a maioria dos estudos que utilizam a análise de derretimento do sorvete se fundamentam apenas na taxa de derretimento, que não expressa detalhes sobre o comportamento do sorvete durante o derretimento (Samakradhamrongthai et al, 2021; Silva, 2012), de modo que diferentes formulações podem apresentar a mesma taxa de derretimento. Um exemplo desta afirmação é que, embora os resultados da taxa máxima de derretimento tenham sido muito similares, o  $X_0$  apresentou grande variação (como detalhado acima), demonstrando que as formulações do sorvete apresentam propriedades físicas muito distintas, pois atingiram a taxa máxima de derretimento em tempos variados. Além disso, cabe ressaltar que, os estudos que utilizam a taxa de derretimento avaliam apenas a inclinação da parte linear do gráfico, não descrevendo o perfil total (Figura 1) do derretimento (Xavier et al., 2022; Airoidi et al., 2022) e, dessa maneira, podem negligenciar o comportamento do sorvete durante os primeiros minutos de derretimento, que são extremamente importantes para avaliar as características do sorvete (Goff, 2013).

### 3.2 Efeitos da substituição da gordura por CB

As propriedades do sorvete como a incorporação de ar (*overrun*), a taxa máxima de derretimento ( $P$ ), o tempo para atingir a taxa máxima de derretimento ( $X_0$ ), tempo necessário para derreter 10% ( $T_{10}$ ), tempo necessário para derreter 20% ( $T_{20}$ ) e tempo necessário para derreter 30% ( $T_{30}$ ) variaram de 19,95% a 25,42%; 2,61 min a 3,21 min.; 30,94 min. a 62,62 min.; 14,66 min. a 28,58 min.; 19,31 min. a 38,17 min. e 23,20 min. a 46,27 min., respectivamente (Tabela 1).

Considerando a avaliação da superfície de resposta para o planejamento fatorial  $2^2$  com repetição no ponto central, o *overrun* e o tempo para atingir a taxa máxima de derretimento ( $X_0$ ) foram influenciados significativamente ( $p < 0,05$ ) pelos níveis de gordura e CB (Figura 2).

Todos os modelos apresentaram ajustes lineares e o  $R^2$  (ajustado) alto (acima de 0,85) para todas as variáveis com exceção da taxa máxima de derretimento ( $P$ ). A falta de ajuste não foi significativa ( $p \geq 0,05$ ), corroborando com a adequação dos modelos das superfícies de resposta. O aumento da CB apresentou significância positiva para o *overrun* e significância negativa para  $X_0$  e  $T_{30}$ , demonstrando a importância da adição da CB para a incorporação de ar no sorvete, melhorando esta propriedade. Entretanto, também representa que a CB sozinha não foi capaz de retardar o derretimento do sorvete, bem como ocorreu com a gordura que foi significativa para  $X_0$ ,  $T_{20}$  e  $T_{30}$ , indicando que o derretimento foi mais lento em função do aumento na concentração de gordura presente no sorvete (Figura 3).

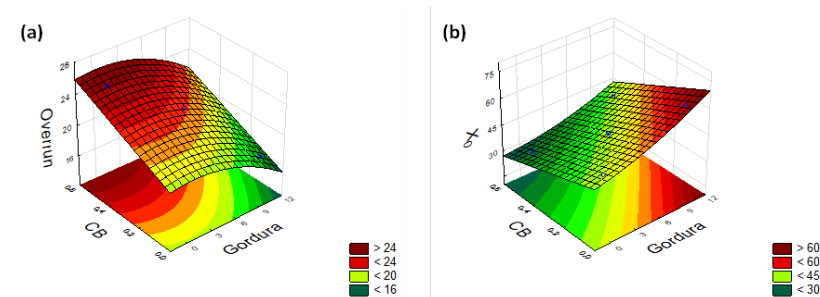


Figura 2. Superfícies de resposta para o efeito da substituição de gordura por CB sobre o overrun (a) e  $X_0$  (b) do sorvete.

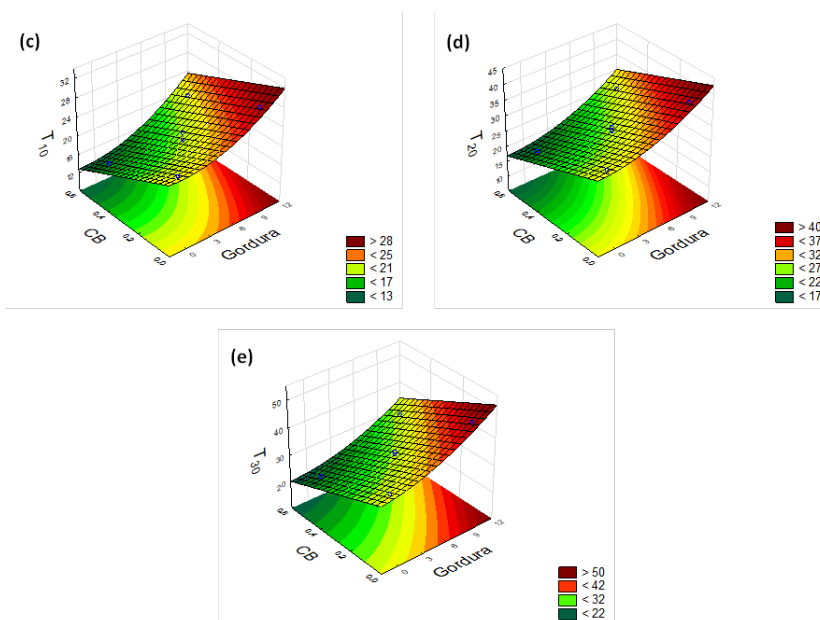


Figura 3. Superfícies de resposta para o efeito da substituição de gordura por CB sobre o  $T_{10}$  (c),  $T_{20}$  (d) e  $T_{30}$  (e) do sorvete.

Coefficientes	Overrun	P	$X_0$	$T_{10}$	$T_{20}$	$T_{30}$
Média	<b>21,42</b>	<b>2,96</b>	<b>44,85</b>	<b>21,38</b>	<b>28,19</b>	<b>33,74</b>
$X_1$	-1,57	-0,00	<b>7,50</b>	3,48	<b>4,72</b>	<b>5,55</b>
$X_2$	<b>2,37</b>	0,07	<b>-8,34</b>	-3,48	-4,72	<b>-5,99</b>
Falta de ajuste ( <i>p</i> -value)	0,52	0,04	0,15	0,84	0,06	0,61
$R_2$ ajustado	0,87	0,00	0,96	0,86	0,93	0,94

P. Taxa máxima de derretimento.  $X_0$ . Tempo para atingir a taxa máxima.  $T_{10}$   $T_{20}$   $T_{30}$ . Tempo necessário para atingir 10%, 20% e 30% de derretimento.  $X_1$ . Gordura.  $X_2$ . CB. Valores em negrito indicam significância estatística ( $p < 0,05$ ).

Tabela 2. Coeficientes de regressão do *overrun*, taxa de derretimento,  $X_0$ ,  $T_{10}$ ,  $T_{20}$  e  $T_{30}$  do sorvete.

Guo et al. (2018) utilizaram uma substituição de 30% de gordura por um complexo CB e proteína de soja isolada e observaram um derretimento mais lento. Entretanto, a maioria dos estudos utiliza concentrações mais altas de CB juntamente com outros componentes como proteínas e polissacarídeos, como utilizado em um estudo realizado por Xavier e Ramana, 2022, que avaliaram as propriedades físicas de formulações com redução de gordura contendo CB e inulina, além de formulações controle sem adição desses ingredientes. Os autores verificaram que as formulações contendo 17% de CB e 1,4% de inulina foram eficientes no aumento da resistência ao derretimento.

Dentre os efeitos da CB na resistência ao derretimento, é possível destacar a capacidade de retenção de água e o potencial como estabilizador de emulsões. A inulina pode também contribuir para a retenção de água e para o aumento de sólidos não gordurosos, reduzindo a água congelada disponível e o ponto de congelamento e, como consequência o ponto de fusão (derretimento do sorvete) (Gorinstein et al., 2001). Desse modo, aumentar as concentrações de CB e utilizar outros ingredientes como fibras pode contribuir para o aumento da resistência ao derretimento. Entretanto, os estudos supracitados utilizaram concentrações muito altas de CB, o que poderia tornar o produto final extremamente oneroso e inviável economicamente.

## 4 | CONCLUSÃO

O presente estudo sugere que a substituição de gordura por CB pode melhorar significativamente ( $p < 0,05$ ) a incorporação de ar (*overrun*) das formulações sem, entretanto, apresentar efeito em relação à resistência ao derretimento.

Outro aspecto importante, foi que a utilização de um novo modelo matemático para avaliar o comportamento do sorvete durante o derretimento pode contribuir para a melhor compreensão do que acontece durante esse processo. Além disso, a avaliação da taxa de derretimento não expressa, de fato, este comportamento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro do CNPq (380581/2022-1).

## REFERÊNCIAS

ABIS – Associação Brasileira das Indústrias e do setor de sorvete. Disponível em: <[http://www.abis.com.br/estatistica\\_producaoconsumodesorvetesnobrasil.html](http://www.abis.com.br/estatistica_producaoconsumodesorvetesnobrasil.html)> Acesso em: 10, jan. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria Nº 540, de 27 de outubro de 1997. Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares - definições, classificação e emprego. Diário Oficial da República Federativa do Brasil; Brasília, DF, de 28 de outubro de 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC N° 266, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico: Gelados comestíveis e preparados para gelados comestíveis. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, de 23 de setembro de 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n° 320, de 22 de fevereiro de 2022. Dispõe sobre os requisitos técnicos para fabricação, comercialização e identidade e qualidade do sorvete. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 fev. 2022. Seção 1, p. 18-21.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC N° 331, de 23 de dezembro de 2019. Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 dez. 2019.

DE SOUZA, J. C. B. et al. Sorvete: Composição, Processamento e Viabilidade da Adição de Probiótico. Alim. Nutr. Araraquara v.21, n.1, p. 155-165, jan./mar. 2010.

GAMA, M.; DOURADO, F.; BIELECKI, S. Bacterial Nanocellulose. 1<sup>st</sup> Ed. From Biotechnology to Bioeconomy. Ed. Elsevier, 2016, 260p.

GIBIS, M. et al. Influence of molecular weight and degree of substitution of various carboxymethyl celluloses on unheated and heated emulsion-type sausage models. Carbohydrate polymers, v. 159, p. 76-85, 2017. ISSN 0144-8617.

GOFF, H.D. Formation and stabilisation of structure in ice-cream and related products. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 7 (2002), pp. 432-437.

GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. Ice Cream. 7<sup>th</sup> Ed. New York: Springer, 2013. ISBN 1461460964.

GOFF, H. D. Ice Cream and Frozen Desserts: Manufacture. Reference Module in Food Science, p. 1 - 6, 2016.

Gorinstein, S., Zachwieja, Z., Folta, M., Barton, H., Piotrowicz, J., Zemser, M., Weisz, M., Trakhtenberg, S., & Martín-Belloso, O. (2001). Comparative contents of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 952– 957. <https://doi.org/10.1021/jf000947k>

GOTTSCHALK, L. M. F. et al. Produção de celulose bacteriana por *Gluconacetobacter hansenii* ATCC 1431 utilizando resíduos agroindustriais e diferentes fontes de nitrogênio. Publicações Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2013.

GUO, Y. et al. Nano-bacterial cellulose/soy protein isolate complex gel as fat substitutes in ice cream model. Carbohydrate polymers, v. 198, p. 620-630, 2018. ISSN 0144-8617.

LU, Q; YU, X; ELGASIM, A, A, Y; WAHIA, H; ZHOU, C; Application and challenge of nanocellulose in the food industry. Food Bioscience Volume 43, October 2021, 101285.

KURT, A.; ATALAR, I. Effects of quince seed on the rheological, structural and sensory characteristics of ice cream. Food Hydrocolloids, v. 82, p. 186-195, 2018. ISSN 0268-005X.

MARSHALL, R. T.; GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. Ice cream. 6<sup>th</sup> Ed. New York: Kluwer Academic, Plenum Press, p. 139 - 143, 2003. SBN 0306477009.

MARSHALL, R. T.; ARBUCKLE, W. S. Ice cream. 5<sup>th</sup> Ed. Aspen Publisher. 2000. 349p.

PAXIMADA, P. et al. Effect of bacterial cellulose addition on physical properties of WPI emulsions. Comparison with common thickeners. *Food Hydrocolloids*, v. 54, p. 245-254, 2016. ISSN 0268-005X.

SAREMNEZHAD, S.; ZARGARCHI, S.; KALANTARI, Z. N. Calcium fortification of prebiotic ice-cream. *LWT*, v. 120, p. 108890, 2020. ISSN 0023-6438.

UL-ISLAM, M.; KHAN, T.; PARK, J. K. Nanoreinforced bacterial cellulose–montmorillonite composites for biomedical applications. *Carbohydrate polymers*, v. 89, n. 4, p. 1189-1197, 2012. ISSN 0144-8617.

YU, B. et al. Preparation of nanofibrillated cellulose from grapefruit peel and its application as fat substitute in ice cream. *Carbohydrate Polymers*, v. 254, p. 117415, 2020. ISSN 0144-8617.