



ALTERNATIVAS PARA MINIMIZAÇÃO DA OXIDAÇÃO LIPÍDICA EM BOLOS
ALTERNATIVAS PARA MINIMIZAR LA OXIDACIÓN LIPÍDICA EN PASTELES
ALTERNATIVES FOR MINIMIZING LIPID OXIDATION IN CAKES

Apresentação: Comunicação Oral

Letícia Mesquita Lima Ferreira de Araújo¹; Krause Gonçalves Silveira Albuquerque²; Luciares Costa de Araújo³

DOI: <https://doi.org/10.31692/VIICIAGRO.0196>

RESUMO

Os bolos movimentam um mercado global expressivo, avaliado em cerca de 46 bilhões de dólares em 2022, sendo amplamente consumidos devido à sua praticidade e propriedades sensoriais. Contudo, a vida de prateleira desses produtos comerciais é limitada por fatores intrínsecos e extrínsecos, com destaque ao crescimento microbiano e a deterioração físico-química por oxidação lipídica. Em sistemas coloidais complexos e multifásicos como os bolos, a grande área interfacial gerada pela intensa aeração no batimento da massa aumenta a exposição dos lipídeos ao oxigênio. Além disso, por causa do processo de forneamento, o calor se apresenta como um potente catalisador para a fase de iniciação das reações em cadeia. Essas reações resultaram no acúmulo de hidroperóxidos e na sua subsequente decomposição, gerando compostos que serão responsáveis pelo surgimento do odor e sabor rançoso, pela perda de vitaminas, aumento da acidez, redução do pH e alterações no volume e maciez do miolo dos bolos. Os vários impactos tornam necessária a investigação de meios para diminuir a ocorrência da oxidação, como uso de embalagens com atmosfera modificada, uso de agentes antioxidantes naturais – seja na formulação ou na embalagem – e ainda a substituição das gorduras mais usuais, mais insaturadas, por óleos com menor número de insaturações, a fim de retardar o início da oxidação e, por consequência, aumentar o tempo de vida de prateleira dos bolos. Diante disso, esta revisão narrativa teve como objetivo apresentar os mecanismos da oxidação lipídica (iniciação, propagação e terminação), suas implicações físico-químicas e sensoriais em bolos, bem como discutir alternativas viáveis para minimizar essa degradação.

¹ Graduanda em Engenharia de Alimentos, UFAP, leticia.mesquita@ufape.edu.br

² Doutorando em Biotecnologia, UFPE, albuquerque.k.g.s@gmail.com

³ Doutora em Engenharia Química, UFAP, luciares.araujo@ufape.edu.br

Palavras-chave: Confeitaria; Auto-oxidação; Perfil lipídico; Antioxidantes naturais; Vida de prateleira.

RESUMEN

Los pasteles se mueven en un mercado global significativo, valuado en alrededor de 46 mil millones de dólares en 2022, siendo ampliamente consumidos debido a su practicidad y propiedades sensoriales. Sin embargo, la vida útil de estos productos comerciales está limitada por factores intrínsecos y extrínsecos, entre los que destacan el crecimiento microbiano y el deterioro físico-químico por oxidación lipídica. En sistemas coloidales complejos y multifásicos como los pasteles, el gran área interfacial generada por la intensa aireación durante el batido de la masa aumenta la exposición de los lípidos al oxígeno. Además, a causa del proceso de horneado, el calor se presenta como un potente catalizador para la fase de iniciación de las reacciones en cadena. Estas reacciones dan como resultado la acumulación de hidroperóxidos y su posterior descomposición, generando compuestos que serán responsables de la aparición de olor y sabor a rancio, la pérdida de vitaminas, el aumento de la acidez, la reducción del pH y alteraciones en el volumen y la suavidad de la miga de los pasteles. Los diversos impactos hacen necesaria la investigación de medios para mitigar la ocurrencia de la oxidación, tales como el uso de envasado en atmósfera modificada, el uso de agentes antioxidantes naturales – ya sea en la formulación o en el envase – y la sustitución de las grasas convencionales más insaturadas por aceites con menor grado de insaturación, con el fin de retrasar el inicio de la oxidación y, por consiguiente, prolongar la vida útil de los pasteles. Ante esto, esta revisión narrativa tuvo como objetivo presentar los mecanismos de la oxidación lipídica (iniciación, propagación y terminación), sus implicaciones físico-químicas y sensoriales en pasteles, así como discutir alternativas viables para minimizar esta degradación.

Palabras clave: Repostería; Autooxidación; Perfil lipídico; Antioxidantes naturales; Vida útil.

ABSTRACT

Cakes command a significant global market, valued at approximately 46 billion dollars in 2022, and are widely consumed due to their convenience and desirable sensory properties. However, the shelf life of these commercial products is limited by both intrinsic and extrinsic factors, with particular emphasis on microbial growth and physicochemical deterioration due to lipid oxidation. In complex, multiphasic colloidal systems such as cakes, the large interfacial area generated by intensive aeration during batter whipping increases the exposure of lipids to oxygen. Furthermore, due to the baking process, heat acts as a potent catalyst for the initiation phase of these chain reactions. These reactions result in the accumulation of hydroperoxides and their subsequent decomposition, generating compounds responsible for the development of rancid odors and flavors,

vitamin loss, increased acidity, reduced pH, and alterations in cake crumb volume and softness. These diverse impacts necessitate the investigation of means to mitigate the occurrence of oxidation, such as the use of modified atmosphere packaging, the application of natural antioxidant agents – either in the formulation or in the packaging – and the replacement of conventional, highly unsaturated fats with oils containing fewer unsaturations, aiming to delay the onset of oxidation and, consequently, extend the shelf life of cakes. Given this context, this narrative review aimed to present the mechanisms of lipid oxidation (initiation, propagation, and termination), its physicochemical and sensory implications in cakes, as well as to discuss viable alternatives to minimize this degradation. .

Keywords: Confectionery; Auto-oxidation; Lipid profile; Natural antioxidants; Shelf life.

INTRODUÇÃO

Por causa da sua praticidade, seu alto valor nutricional e boas propriedades sensoriais, os bolos são amplamente consumidos por todo o mundo, de modo a apresentarem uma relevância econômica expressiva, com avaliação em torno de 46 bilhões de dólares em 2022. Tradicionalmente, bolos são compostos de farinha, açúcar, ovos e gordura, mas é cada vez mais comum a implementação ou troca de determinados ingredientes na formulação deste produto para que ele consiga atender à crescente demanda por bem-estar em saúde, tendo em vista sua importância mercadológica (Ardeshir, *et al.*, 2024).

De acordo com a tecnologia de alimentos, um bolo é definido como um sistema coloidal complexo no qual uma rede tridimensional, composta fundamentalmente por proteínas (vindas da farinha e dos ovos), atua encapsulando grânulos de amido e aprisionando bolhas de ar. É exatamente essa estrutura que, durante o forneamento, é responsável por dar a porosidade e volume característico do produto. Nessa etapa a expansão do ar e dos gases de fermentação exerce pressão sobre a rede elástica, enquanto as proteínas sofrem desnaturação e coagulação para formar lamelas sólidas e resistentes que estabilizam as células de ar. Ao mesmo tempo, o amido passa pela gelatinização absorvendo água e inchando, de modo a preencher os espaços da rede proteica e contribuindo decisivamente para a firmeza do miolo. Os óleos ou gorduras vão fazer parte dessa matriz promovendo a aeração inicial, além de interagirem com o amido formando complexos com a amilose, auxiliando na textura e no retardamento do endurecimento do produto (Binjia, 2021).

A vida de prateleira dos bolos comerciais é limitada por uma interação de fatores intrínsecos, como a atividade de água e o pH, e fatores extrínsecos, como a temperatura e a composição de gases na embalagem. Entre os processos de deterioração conhecidos, os maiores desafios para a indústria são

o crescimento de microrganismos — com destaque para bolores e leveduras — e a deterioração físico-química pela oxidação lipídica, que ocorre por meio da quebra de triglicerídeos e da produção de ácidos graxos livres, tendo em vista o alto teor de gordura dos bolos. O processo de oxidação não só compromete o perfil sensorial por produzir odores e sabores rançosos, como também acelera a degradação da cor do miolo, já que os radicais livres e os produtos da oxidação reagem com proteínas e pigmentos naturais do ovo (Djenane, *et al.*, 2025).

O maior desafio no estudo da oxidação lipídica em bolos se dá pela natureza multifásica do sistema, com a degradação ocorrendo em interfaces dinâmicas de um sistema coloidal complexo. Uma vez que o bolo é uma emulsão que encapsula ar e amido em uma rede proteica, a grande área interfacial formada pela aeração e pela estrutura porosa aumenta drasticamente a exposição dos lipídeos ao oxigênio e a agentes pró-oxidantes, o que acelera a oxidação. Além disso, o processo de assamento introduz o calor como um potente catalisador para a fase de iniciação do processo oxidativo, e ainda promove a co-oxidação entre lipídios e proteínas. Essas reações acabam por alterar a estrutura das proteínas da matriz e a estabilidade dos lipídios, tornando difícil isolar as vias de degradação e prever com precisão a vida de prateleira baseando-se apenas em marcadores clássicos (Hennebelle, *et al.*, 2024).

Com o exposto, o presente trabalho tem como intuito apresentar os mecanismos de ação da oxidação lipídica e as alterações causadas por esta reação em bolos e trazer alternativas viáveis para minimizar esse tipo de degradação.

METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma revisão narrativa que levanta algumas abordagens possíveis para diminuir a degradação em bolos causada pela oxidação lipídica. A busca das referências foi feita na plataforma google acadêmico utilizando os termos “lipid oxidation” e “cakes”. Por consequência ao grande número de resultados, a busca focou em artigos de revisão e foi instituído um recorte temporal entre os anos de 2018 e 2025, onde os artigos contemplados para a revisão foram aqueles que, após análise de título e resumo, apresentavam discussões sobre o tema proposto, com o recorte para a análise de bolos esponjosos doces, sendo descartados os que focaram apenas em produtos de panificação que não os observados no estudo presente – como biscoitos e pães – e também aqueles que traziam abordagens sobre bolos salgados.

DESENVOLVIMENTO

O PROCESSO DE OXIDAÇÃO

A oxidação lipídica em alimentos é um fenômeno químico complexo que afeta principalmente os ácidos graxos insaturados, que podem ocorrer com ou sem a presença de enzimas. O processo de oxidação é o mais frequente e divide-se em três etapas, iniciação, propagação e terminação, sendo acelerado por catalisadores como luz, calor, oxigênio e íons de metais de transição. Durante essas reações, formam-se inicialmente hidroperóxidos, que se degradam rapidamente em compostos voláteis secundários. Ainda que não seja completamente indesejável e possa em alimentos específicos, trazer sabor e odor característicos e desejados, nos bolos a oxidação lipídica é a principal responsável pelo surgimento de sabores e odores desagradáveis e também pela perda de nutrientes e vitaminas (Shahahidi, Hossain, 2022).

A fase de iniciação da auto-oxidação é onde ocorre a formação de um radical alquila a partir de um ácido graxo insaturado. Este processo ocorre através da abstração de um átomo de hidrogênio, geralmente no carbono vizinho ou entre as duplas ligações da cadeia lipídica, onde as ligações C–H possuem menor energia de dissociação (Hennebelle, *et al.*, 2024).

Nos bolos, essa fase é desencadeada e acelerada por diversos fatores específicos do seu processamento. Ainda no início da produção, na etapa de batimento da massa, é possível que a oxidação se inicie por causa da intensa incorporação de ar à massa, que aumenta a exposição dos lipídios ao oxigênio e a agentes pró-oxidantes (Velasco, *et al.*, 2023).

Um pouco mais adiante, durante o processo de assamento, a alta temperatura do forno atua como um potente catalisador, favorecendo o início da reação. Ainda que o teor de umidade no bolo seja alto, de modo a reduzir o estresse térmico sobre a gordura, a temperatura ainda consegue ser suficiente para formar os primeiros radicais (Shahidi, Hossain, 2022). Íons de metais de transição, como o ferro e o cobre oriundos de matérias-primas como a gema do ovo ou por contaminações de processamento, são exemplos de pró-oxidantes que facilitam a geração de espécies reativas de oxigênio, promovendo a remoção do hidrogênio da cadeia lipídica. Além disso, a própria matriz do alimento é altamente aerada e complexa, tendo uma grande área interfacial que facilita a interação entre lipídios, oxigênio e catalisadores presentes na fase aquosa (Hennebelle, *et al.*, 2024).

A segunda fase da reação, a fase de propagação, é responsável pela multiplicação dos danos oxidativos e pelo consumo efetivo do oxigênio presente na matriz. Nesta fase, o processo ocorre por meio um de ciclo repetitivo envolvendo alguns mecanismos e uma série de reações com os produtos obtidos na fase de iniciação (Hennebelle, *et al.*, 2024).

Primeiro o radical alquila, gerado na fase de iniciação, reage rapidamente com o oxigênio molecular – abundante em bolos devido à sua matriz porosa – formando um radical peroxila. Esse radical ataca uma nova molécula de ácido graxo insaturado, removendo um átomo de hidrogênio da sua cadeia, formando um hidroperóxido lipídico e um novo radical alquila, que reinicia o ciclo, mantendo a reação em cadeia (Badui, 2006).

Essa fase resulta no acúmulo dos produtos primários da oxidação, os hidroperóxidos. Ainda que estes sejam inodoros e insípidos, é possível determinar a sua concentração por meio de análises, o que torna possível a identificação da ocorrência do processo oxidativo antes de o ranço seja percebido de forma sensorial (Kozłowska, *et al.*, 2019).

Na fase de terminação os radicais livres deixam de se propagar e se combinam entre si para formar produtos estáveis (Hennebelle, *et al.*, 2024). Para isso, os radicais gerados nas etapas anteriores reagem uns com os outros ao invés de atacarem novas cadeias de ácidos graxos insaturados. Essa reação cria compostos estáveis, não radicais e de maior peso molecular, como polímeros. Em produtos de confeitaria, como os bolos, o acúmulo dos compostos da terminação podem alterar as propriedades físicas da gordura, resultando no aumento da viscosidade dos componentes lipídicos (Badui, 2006).

Diferente das fases anteriores, que produzem hidroperóxidos e compostos voláteis responsáveis pela formação do ranço, a terminação encerra o ciclo de degradação por não ter como produto esses compostos de alta reatividade. Ainda assim, os danos causados pela oxidação na fase de propagação não são revertidos, as reações apenas param de acontecer. Com a compreensão desse mecanismo se torna mais fácil entender como a presença de antioxidantes beneficia a estabilidade do bolo, aumentando seu tempo de vida de prateleira, ao favorecer uma terminação precoce, com menor degradação na segunda fase da reação em cadeia (Shahidi, Hossain, 2022).

MUDANÇAS FÍSICO-QUÍMICAS E SENSORIAIS

Muitas são as mudanças físico químicas e sensoriais que ocorrem durante o processo oxidativo dos bolos, comprometendo a qualidade, a segurança e a aceitação do produto do produto pela degradação dos lipídeos.

Mudanças físico-químicas

Entre as mudanças físico-químicas é possível destacar a formação dos produtos da degradação, como os hidroperóxidos, que se decompõem rapidamente em compostos secundários voláteis e não

voláteis, como aldeídos, cetonas, álcoois e malonaldeídos (Djenane, *et al.*, 2025). Dando foco aos malonaldeídos, estes são compostos mais presentes e que devem ser melhor monitorados, por consequência ao seu potencial citogênico e mutagênico, por isso são medido pelo índice de TBARS, a fim de garantir tanto a qualidade sensorial, quanto a segurança nutricional do alimento (Senanayake, *et al.*, 2018).

Outra mudança ocorre com relação a acidez e ao pH do alimento. Por consequência da quebra de triglicerídeos, ocorre um aumento na concentração dos ácidos graxos livres, o que resulta na diminuição do pH, devido a formação de ácidos orgânicos e compostos carbonílicos (Ardeshir, *et al.*, 2024).

A estrutura do bolo também vai sofrer com mudanças. A oxidação e o envelhecimento culminam na perda de umidade e peso, o que acaba por reduzir a atividade de água do alimento. O resultado disso é a redução da altura e do volume, já que a matriz perde a capacidade de reter gases e sofre colapso (Djenane, *et al.*, 2025).

Por fim, as interações moleculares também se enquadram como problemas físico-químicos causados pela oxidação. Isso ocorre quando os produtos da oxidação reagem com os aminoácidos, formando a carbonila proteica, quebrando e formando novos polímeros, que alteram as propriedades funcionais da matriz. Para além disso, ocorre a perda de vitaminas e compostos bioativos (Djenane, *et al.*, 2025).

Mudanças sensoriais

A degradação química, que ocorre principalmente durante o armazenamento, transforma os lipídeos em uma série de compostos voláteis e não voláteis que serão responsáveis pela perda da qualidade sensorial do produto, afetando características como sabor, cor, aroma e textura, o que não só diminui a vida de prateleira do alimento, como também limita sua aceitação com os clientes (Ardeshir, *et al.*, 2024).

A alteração sensorial que mais se destaca é a formação de ranço pela oxidação lipídica, que modifica o aroma e o sabor do alimento. A construção desses compostos acontece pela decomposição dos hidroperóxidos em compostos voláteis secundários, como aldeídos, cetonas, álcoois e ésteres. O hexanal, um aldeído, é o principal indicador da deterioração do sabor, sendo ele que ocasiona o gosto de gordura ou sebo em muitos alimentos (Shahidi, Hossain, 2022). Contudo, o avanço da oxidação também pode ser responsável pela perda de sabores desejáveis, como das

essências de limão e baunilha, que perdem suas notas de sabor, passando a ter um perfil sensorial pouco palatável (Ardeshir, *et al.*, 2024).

A alteração na cor do produto se dá pelos processos de escurecimento e/ou branqueamento dos pigmentos presentes no bolo. Nesse fenômeno os produtos secundários da oxidação podem degradar os pigmentos naturais do alimento, diminuindo a vivacidade da cor do miolo do bolo ou gerando substâncias escuras, ao se ligarem com proteínas, numa reação semelhante à que acontece na última fase da reação de Maillard (Kozłowska, *et al.*, 2019).

Ainda que a textura seja mais associada ao envelhecimento do amido, a oxidação também vai desempenhar um papel importante neste processo. A perda de elasticidade e aumento da dureza do miolo vai ser uma consequência da quebra de triglicerídeos (Djenane, *et al.*, 2025). Por sua vez, essa degradação leva à redução da altura e do volume do bolo (Ardeshir, *et al.*, 2024). A junção desses processos degradativos acaba prejudicando a sensação de maciez e umidade durante a mastigação, tendo em vista a forte alteração na composição química dos lipídeos do produto (Kozłowska, *et al.*, 2019).

Todas essas mudanças resultam na queda da aceitabilidade geral do produto.

RESULTADOS

ALTERNATIVAS PARA MINIMIZAÇÃO DA OXIDAÇÃO

O controle da oxidação lipídica é essencial para garantir a qualidade sensorial e a integridade estrutural dos produtos de panificação e confeitaria, visto que as gorduras desempenham papéis cruciais na textura, aroma, sabor e palatabilidade desses alimentos (Stemler, *et al.*, 2024). A oxidação descontrolada resulta no desenvolvimento de rancidez e sabores desagradáveis (*off-flavors*), o que de forma drástica a aceitação do consumidor e a vida útil do alimento (Das, Das, 2024). No contexto de bolos, os lipídios impactam diretamente a densidade e a firmeza da massa, como visto, tornando o monitoramento oxidativo essencial para manter as características físicas desejáveis durante o armazenamento. Portanto, assegurar a estabilidade oxidativa é um pré-requisito para que o produto final mantenha o padrão de qualidade esperado pela indústria e pelos consumidores (Stemler, *et al.*, 2024).

Além dos aspectos sensoriais, o controle desse processo degradativo é uma prioridade de saúde pública e segurança alimentar, pois evita a perda de nutrientes e a formação de subprodutos tóxicos (Stemler, *et al.*, 2024). Com a tendência global de consumo de alimentos mais saudáveis, com a alternativa da substituição de gorduras saturadas prejudiciais por óleos vegetais mais

saudáveis, o controle torna-se ainda mais necessário para prevenir a formação de compostos associados a doenças cardiovasculares e comorbidades metabólicas (Das, Das, 2024). Esse rigor técnico permite a produção de alimentos funcionais que promovem um estilo de vida saudável e seguro. Com isso, surgem alternativas para controlar o processo oxidativo sem deixar de lado a satisfação do consumidor (Mickiewicz, *et al.*, 2022).

Tecnologia de embalagens

Por atuar não só como barreira física, mas também como um sistema dinâmico que interfere quimicamente no retardamento da oxidação lipídica, a tecnologia de embalagens desempenha um papel de extrema importância na manutenção das características organolépticas e do tempo de vida útil dos bolos. Algumas formas de utilizar a embalagem como método de prevenção a oxidação lipídica são:

1. Embalagem de Atmosfera Modificada (MAP)

Na técnica de MAP o ar atmosférico é substituído por uma mistura de gases, como nitrogênio e dióxido de carbono, com o intuito de restringir a disponibilidade de oxigênio, que é o principal agente oxidante. Por serem eficientes contra microrganismos e estabilizarem o pH da matriz, os dois gases citados acabam sendo os mais utilizados para esse tipo de conservação em bolos (Djenane, *et al.*, 2025).

Além dos benefícios trazidos pelos gases utilizados, a redução do oxigênio a níveis extremamente baixos restringe a iniciação da reação em cadeia, retardando significativamente a oxidação lipídica (Djenane, *et al.*, 2025).

No estudo de Djenane, o uso de MAP para a conservação de bolos demonstrou resultados positivos ao manter os índices de oxidação (TBARS) estáveis por períodos muito mais longos do que a embalagem em ar ambiente.

2. Embalagens Ativas com Compostos Bioativos

Diferente das embalagens passivas, como é o caso das utilizadas comumente e também nas embalagens com atmosfera modificada, as embalagens ativas incorporam agentes que interagem com o alimento para estender sua vida útil (Djenane, *et al.*, 2025).

Nesse caso são incorporados antioxidantes naturais. Moléculas como hidroxitirosol, extrato de oliva, e o eugenol são incorporadas a filmes poliméricos, como o poliestireno expandido. Estes

compostos interagem de forma que o hidroxitirosol é regenerado pelo eugenol, permitindo uma proteção prolongada contra radicais peroxila (Djenane, *et al.*, 2025).

A eficiência de tecnologias como o MAP tem ligação direta com a capacidade do material da embalagem de manter a composição interna dos gases. Logo, além das pesquisas voltadas para a inovação dessas embalagens, a abordagem mais simples deve ser sempre levada em consideração (Djenane, *et al.*, 2025). A utilização de plásticos de alta barreira, a duplicação dos filmes e a utilização de embalagens opacas também ajudam na prolongação do tempo de vida de prateleira do produto, impedindo a interação do bolo com o oxigênio, retardando sua perda de umidade ou ainda impedindo a seu contato com agentes pró-oxidantes, como a luz (Gumus, Decker, 2021).

Mudança no perfil lipídico

A substituição de lipídios por fontes mais estáveis é uma das estratégias mais eficazes para controlar a oxidação lipídica em bolos, tendo como base a ideia de que a velocidade da degradação está relacionada diretamente e proporcionalmente ao grau de insaturação dos ácidos graxos presentes na fórmula (Velasco, *et al.*, 2023). Dessa forma, óleos ricos em ácidos graxos poli-insaturados, como o óleo de girassol e o de soja, são altamente suscetíveis à oxidação por consequência ao alto teor de ácido linoleico – cujas ligações duplas facilitam a formação de radicais livres (Innosa, *et al.*, 2019).

Com isso, o uso do óleo do bagaço de oliva (OPO), surge como uma alternativa saudável e tecnicamente superior aos óleos de sementes tradicionais. Ele é majoritariamente monoinsaturado, rico em ácido oleico e com baixos níveis de ácido linoleico, o que acaba lhe conferindo uma resistência natural à degradação oxidativa durante o processamento e o armazenamento do produto (Velasco, *et al.*, 2023).

No estudo de Velasco, *et al.* cupcakes com OPO na formulação apresentaram níveis de hidroperóxidos de triglicerídeos muito inferiores, cerca de 0,25 mmol/kg após 6 meses de prateleira, quando comparados com os possuíam óleo de girassol na composição, que tiveram uma concentração de 10,90 mmol/kg hidroperóxidos de triglicerídeos após o mesmo tempo de armazenamento. Além disso, o índice de estabilidade oxidativa de bolos com OPO foi muito superior ao dos bolos com óleo de girassol (Velasco, *et al.*, 2023).

Uma abordagem semelhante a de Velasco é trazida por Innosa em seu estudo de 2019, cuja ideia é a substituição dos lipídeos usuais, insaturados, por gorduras saturadas ou monoinsaturadas, com posterior comparação entre as duas.

Como esperado, a substituição de óleos mais saturados pelo óleo de palma resultou numa menor oxidação do colesterol e menores índices de TBARS, especialmente após períodos prolongados de assamento (Innosa, *et al.*, 2019). Acontece que o óleo de palma, sendo rico em ácido palmítico, resiste melhor ao calor do forno, retardando o processo oxidativo.

Uso de antioxidantes

A utilização de antioxidantes naturais em bolos surge como uma alternativa tecnologicamente viável e saudável aos aditivos sintéticos (como BHA e BHT), atendendo à demanda dos consumidores por produtos de "rótulo limpo" (*clean label*), que tem crescido nos últimos anos (Djenane, *et al.*, 2025). Esses compostos, vindos principalmente de vegetais e coprodutos da indústria alimentícia, atuam atrasando o início da oxidação de gorduras e óleos, preservando a qualidade sensorial e nutricional (Senanayake, *et al.*, 2018).

Um bom exemplo de antioxidantes naturais são os extratos de chá, que são fontes ricas de catequinas e polifenóis, exibindo uma alta capacidade de sequestro de radicais livres (Ardeshir, *et al.*, 2024).

No estudo de Kozłowska, o extrato de chá verde demonstrou uma atividade antioxidante superior ao BHA, retardando o início da reação de oxidação lipídica de 4,15 para 12,96 horas ao ser capaz de proteger as gorduras durante o batimento da massa e do processo de passamento. Já o chá branco, que não é fermentado, apresenta um teor de catequina ainda mais elevado que o chá verde, se mostrando o mais eficiente na redução do índice de peróxido após 21 dias de armazenamento (Ardeshir, *et al.*, 2024).

Além dos chás, algumas folhas e frutos também apresentam potencial antioxidativo. A folha de Guaiaba é rica em polifenóis, tem uma estabilidade térmica superior a dos antioxidantes sintéticos, conseguindo manter sua eficácia mesmo depois de 2 horas num forno a 180°C. Em bolos, ela mantém os níveis de hexanal baixo durante 28 dias (Senanayake, *et al.*, 2018).

O extrato da arônia-preta tem grande quantidade de proantocianidinas e antocianinas. Em muffins, a aronia inibe a decomposição de hidroperóxidos e previne a degradação de hidroperóxidos e previne a degradação de ácidos graxos poli-insaturados (Rutkowska, *et al.*, 2020).

Uso de ingredientes coadjuvantes

O ajuste na formulação pelo uso de ingredientes coadjuvantes é uma estratégia fundamental para controlar a oxidação lipídica, preservando a qualidade sensorial e estendendo a vida útil dos bolos (Velasco, *et al.*, 2023). Esses ingredientes atuam tanto por mecanismos químicos diretos (sequestro de radicais e metais) quanto por alterações físicas na matriz que protegem os lipídios (Kozłowska, *et al.*, 2019).

A utilização de enzimas é uma alternativa viável para melhorar o processamento e controlar a degradação. As lipases, por exemplo, promovem uma oxidação lipídica controlada, que acaba por auxiliar em certos estágios do processo produtivo, ao reduzir a pegajosidade da massa. Isso além de facilitar a formação de complexos amido-lipídio, dificultando a reação dos ácidos graxos com compostos da oxidação e, por consequência, diminuindo a oxidação (Stemler, *et al.*, 2024)

Outra enzima que pode ser aplicada no processo é a glicose oxidase, que transforma a glicose em ácido glucônico, consumindo oxigênio no processo. Essa remoção do oxigênio acaba servindo para evitar reações oxidativas e danos causados pela reação de Maillard em produtos que utilizam ovos (Badui, 2006).

Açúcares especiais e ácidos orgânicos podem oferecer um efeito protetor aos ingredientes quando adicionados a formulação. O xilitol, quando utilizado em substituição à sacarose, traz um efeito protetor sobre o conteúdo de polifenóis e demonstra atividade antioxidante durante o armazenamento (Rutkowska, *et al.*, 2020). Enquanto o ácido cítrico é usado para dissolver e estabilizar extratos antioxidantes naturais na massa, diminuindo a perda desses compostos no processo de forneamento (Rutkowska, *et al.*, 2020). Além de atuarem como agentes quelantes, inativando metais catalisadores da oxidação (Badui, 2006).

CONCLUSÕES

A oxidação lipídica se mostra um ponto sensível na garantia da qualidade e segurança de bolos comerciais, estendendo seus impactos negativos desde a alteração de parâmetros físico-químicos (como perda de volume, umidade e aumento da acidez) até a baixa severa da aceitação sensorial devido ao ranço. A natureza da matriz multifásica e aerada da massa, somada com as altas temperaturas do processo de forneamento, criam um ambiente altamente favorável para o início e a propagação das reações em cadeia dos radicais livres.

Contudo, o panorama tecnológico atual oferece alternativas viáveis e eficientes para diminuição desse processo de degradação. O controle da atmosfera interna das embalagens (MAP) e o desenvolvimento de filmes ativos funcionais fornecem barreiras dinâmicas de extrema importância para proteger o alimento contra o oxigênio e a luz. Ao mesmo tempo, a reformulação lipídica através da substituição de óleos insaturados tradicionais por fontes ricas em ácidos graxos monoinsaturados (como o óleo do bagaço de oliva) ou saturados (como o óleo de palma) demonstram alta eficácia na resistência ao estresse térmico do processamento. Por fim, a aplicação de extratos vegetais ricos em polifenóis atende com sucesso à tendência mercadológica de *clean label*, superando, em alguns cenários, a eficiência de antioxidantes sintéticos convencionais. Assim, a escolha correta e combinada dessas estratégias permite à indústria de panificação e confeitaria estender de forma segura o tempo de vida de prateleira dos produtos, preservando seu valor comercial, nutricional e sensorial.

REFERÊNCIAS

- Ardeshir, A.; Fazeli, F.; Khorshidian, N.; Mohammadi, M.** Physicochemical, Antioxidant, and Sensory Characteristics of Sponge Cake Fortified with Quinoa Flour, Oolong, and White Tea Powder. *Journal of Food Quality*, v. 2024, Article ID 6086158, 2024.
- Badui Dergal, Salvador.** *Química de los alimentos*. 4ª edición. México: Pearson Educación, 2006.
- Das, M.; Das, A.** A comprehensive review on strategies to replace saturated fat in bakery products. *Discover Food*, v. 4, 156, 2024.
- Djenane, D.; Metahri, M. S.; Aider, M.; Ariño, A.; López Aznar, N.** Extension of the Shelf Life of Sliced Sponge Cake Through a Combination of Modified Atmosphere and Active Packaging with Hydroxytyrosol and Eugenol. *Foods*, v. 14, n. 23, 4093, 2025.
- Gumus, C. E.; Decker, E. A.** Oxidation in Low Moisture Foods as a Function of Surface Lipids and Fat Content. *Foods*, v. 10, n. 860, 2021.
- Hennebelle, M.; Villeneuve, P.; Durand, E.; Lecomte, J.; van Duynhoven, J.; Meynier, A.; Yesiltas, B.; Jacobsen, C.; Berton-Carabin, C.** Lipid oxidation in emulsions: New insights from the past two decades. *Progress in Lipid Research*, v. 94, 101275, 2024.
- Innosa, D.; Ianni, A.; Palazzo, F.; Martino, F.; Bennato, F.; Grotta, L.; Martino, G.** High temperature and heating effect on the oxidative stability of dietary cholesterol in different real food systems arising from eggs. *European Food Research and Technology*, v. 245, p. 1145–1152, 2019.

Kozłowska, M.; Żbikowska, A.; Szpicer, A.; Póltorak, A. Oxidative stability of lipid fractions of sponge-fat cakes after green tea extracts application. *Journal of Food Science and Technology*, v. 56, n. 5, p. 2628–2638, 2019.

Mickiewicz, B.; Britchenko, I. Main trends and development forecast of bread and bakery products market. *VUZF Review*, v. 7, n. 3, p. 113-123, 2022.

Rutkowska, J.; Antoniewska, A.; Martinez-Pineda, M.; Nawirska-Olszańska, A.; Żbikowska, A.; Baranowski, D. Black Chokeberry Fruit Polyphenols—A Valuable Addition to Reduce Lipid Oxidation in Xylitol-Containing Muffins. *Antioxidants*, v. 9, 394, 2020.

Senanayake, C. M.; Algama, C. H.; Wimalasekara, R. L.; Weerakoon, W. N. M. T. D. N.; Jayathilaka, N.; Seneviratne, K. N. Improvement of Oxidative Stability and Microbial Shelf Life of Vanilla Cake by Coconut Oil Meal and Sesame Oil Meal Phenolic Extracts. *Journal of Food Quality*, v. 2019, Article ID 1263629, 2019.

Senanayake, C. M.; Hapugaswatta, H.; Jayathilaka, N.; Seneviratne, K. N. Phenolic extracts of the leaves of *Psidium guineense* Sw. improve the shelf life of sunflower oil and baked cake and antioxidant status of Wistar rats. *Journal of Food Biochemistry*, v. 42, n. 6, e12632, 2018.

Shahidi, F.; Hossain, A. Role of Lipids in Food Flavor Generation. *Molecules*, v. 27, n. 15, 5014, 2022.

Stemler, C. D.; Hoefflin, K. L.; Scherf, K. A. Effect of seven lipases on different cakes. *European Food Research and Technology*, 2024.

Velasco, J.; García-González, A.; Zamora, R.; Hidalgo, F.J.; Ruiz-Méndez, M.-V. Quality and Nutritional Changes of Traditional Cupcakes in the Processing and Storage as a Result of Sunflower Oil Replacements with Refined Olive Pomace Oil. *Foods*, v. 12, n. 2125, 2023.