

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Gabriella Ghizzo de Souza Horn Vieira

**ÁCIDOS GRAXOS *TRANS* EM ALIMENTOS:**  
do problema nutricional às soluções tecnológicas existentes

Florianópolis

2022



Gabriella Ghizzo de Souza Horn Vieira

**ÁCIDOS GRAXOS *TRANS* EM ALIMENTOS:**  
do problema nutricional às soluções tecnológicas existentes

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em  
Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de  
Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa  
Catarina como requisito para a obtenção do título de  
Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos.  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Manuela Camino Feltes

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Vieira, Gabriella Ghizzo de Souza Horn  
Ácidos graxos trans em alimentos : do problema  
nutricional às soluções tecnológicas existentes / Gabriella  
Ghizzo de Souza Horn Vieira ; orientador, Maria Manuela  
Camino Feltes, 2022.  
77 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agrárias, Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos,  
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2. Lipídio  
estruturado. 3. Zero trans. 4. Glicerólise. 5. Lipases. I.  
Feltes, Maria Manuela Camino. II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Ciência e Tecnologia de  
Alimentos. III. Título.

Gabriella Ghizzo de Souza Horn Vieira

**ÁCIDOS GRAXOS *TRANS* EM ALIMENTOS:**  
do problema nutricional às soluções tecnológicas existentes

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Florianópolis, 09 de março de 2022.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina de Oliveira Costa  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Manuela Camino Feltes  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carlise Beddin Fritzen Freire  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Pedro Luiz Manique Barreto  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais,  
que nunca mediram esforços para me ver feliz.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, do fundo do meu coração, à todas as pessoas que participaram da minha trajetória e me ajudaram a chegar até aqui.

Aos meus pais, Milton e Raquel, que sempre acreditaram no meu potencial e me apoiaram incondicionalmente.

Ao meu namorado, João Pedro, e aos nossos filhos, Manjuba e Corvina, que me acalmaram nos momentos mais difíceis.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Manuela, que foi uma grande inspiração para mim ao longo do curso e, sempre muito atenciosa, aceitou me auxiliar nesta etapa final da graduação.

A todos os professores e professoras com os quais tive contato, que me ensinaram lições valiosas e serão para sempre lembrados.

À Universidade Federal de Santa Catarina, ao Centro de Ciências Agrárias e ao curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, que me proporcionaram um ensino público incrível e definitivamente mudaram a minha vida para melhor.

*“Se você quiser fazer uma torta de maçã [...],  
terá primeiro que inventar o universo.”*

Carl Sagan, *Cosmos*, 1980.

## RESUMO

A formação de isômeros *trans* em ácidos graxos insaturados pode ocorrer por meio de processos biológicos ou artificiais. Seu consumo representa um importante fator de risco para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares e, por este motivo, devem ser banidos da dieta humana. Entretanto, esta questão é problemática para a indústria alimentícia, pois a hidrogenação parcial de óleos vegetais é a solução tecnológica que vem sendo predominantemente usada para a obtenção de bases lipídicas estruturadas. Este processo é uma opção de baixo custo que altera o ponto de fusão, a estabilidade oxidativa e o padrão de cristalização do lipídio, mas que também gera grandes quantidades de isômeros *trans*. Desta forma, novas tecnologias para a produção de lipídios estruturados devem ser desenvolvidas ou aplicadas, a fim de suprir a crescente necessidade da indústria de obter alimentos com alta qualidade nutricional, com formulações econômica e sensorialmente viáveis, bem como para acompanhar as tendências mundiais de mercado e recomendações da comunidade científica e dos órgãos internacionais e nacionais de saúde. Portanto, o presente trabalho consistiu em fazer uma revisão bibliográfica acerca de aspectos nutricionais, tecnológicos e regulatórios sobre ácidos graxos *trans* em alimentos, indicando alternativas para a obtenção de lipídios estruturados zero *trans*, como a glicerólise enzimática. Observou-se que esta reação é uma alternativa tecnológica e economicamente viável para esta finalidade, podendo gerar produtos que podem substituir as fontes tradicionais de óleos e gorduras e as tecnologias atuais para a sua modificação. Pode ser aplicada, por exemplo, para a obtenção de bases lipídicas para uso em produtos de panificação, especialmente biscoitos.

**Palavras-chave:** Lipídio estruturado. Zero *trans*. Glicerólise. Lipases. Biscoitos.

## ABSTRACT

The formation of trans isomers in unsaturated fatty acids can occur through biological or artificial processes. Their consumption represents an important risk factor for the development of cardiovascular diseases and, for this reason, they should be banned from the human diet. However, this issue is problematic for the food industry, as the partial hydrogenation of vegetable oils is the technological solution that has been predominantly used to obtain structured lipid bases. This process is a low-cost option that alters the melting point, oxidative stability, and crystallization pattern of the lipid, but also generates large amounts of trans isomers. In this way, new technologies for the production of structured lipids must be developed or applied in order to meet the growing need of the industry to obtain foods with high nutritional quality, with economically and sensorially viable formulations, as well as to follow the global market trends. and recommendations from the scientific community and international and national health bodies. Therefore, the present work consisted of making a literature review about nutritional, technological and regulatory aspects of trans fatty acids in foods, indicating alternatives to obtain zero trans structured lipids, such as enzymatic glycerolysis. It was observed that this reaction is a technologically and economically viable alternative for this purpose, being able to generate products that can replace the traditional sources of oils and fats and the current technologies for their modification. It can be applied, for example, to obtain lipid bases for use in bakery products, especially cookies.

**Keywords:** Structured lipid. Zero trans. Glycerolysis. lipases. Cookies.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Ácidos graxos normalmente encontrados em produtos de panificação.
- Figura 2 - Modelos de preenchimento de espaço da molécula de ácido esteárico (C18:0), ácido elaídico (C18:1 *trans*-9) e ácido oleico (C18:1 *cis*-9) e seus respectivos Pontos de Fusão (PF).
- Figura 3 - Impacto da ligação dupla na conformação do ácido graxo.
- Figura 4 - Mapa que retrata o desempenho de cada país na implementação de medidas contra ácidos graxos *trans*.
- Figura 5 - Passos da reação de hidrogenação.
- Figura 6 - Estrutura molecular do ácido oleico e do ácido elaídico.
- Figura 7 - Produtos de uma reação de glicerólise catalisada por lipase não específica entre glicerol e 1,3-dipalmitoil-2-oleoilglicerol.

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Informações gerais sobre dados dos artigos científicos sobre reações de interesterificação para a obtenção de bases lipídicas zero trans aplicadas em produtos de panificação, usados para confeccionar a Tabela 1.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Composição em ácidos graxos e características químicas e físicas de alguns óleos interesterificados para panificação.

Tabela 2 - Composição em ácidos graxos e características químicas e físicas de alguns óleos após a glicerólise enzimática.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PF Ponto de Fusão

AHA *American Heart Association*

AGT Ácido Graxo *Trans*

AGMI Ácido Graxo Monoinsaturado

AGPI Ácido Graxo Polinsaturado

AGS Ácido Graxo Saturado

OGPH Óleos e Gorduras Parcialmente Hidrogenados

USDA *United States Department of Agriculture*

FDA *Food and Drug Administration*

GRAS *Generally Recognized As Safe*

ANVISA Agência Nacional de Vigilância Sanitária

RDC Resolução da Diretoria Colegiada

CLA Ácido linoleico conjugado

AGI Ácido Graxo Insaturado

OPAS Organização Pan-Americana da Saúde

OMS Organização Mundial da Saúde

FAO Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

HPOV Hidrogenação Parcial de Óleos Vegetais

HDL Lipoproteína de Alta Densidade

LDL Lipoproteína de Baixa Densidade

TC Colesterol Total

DCV Doença Cardiovascular

% VD Porcentagem de Valor Diário

MAG Monoacilglicerol

DAG Diacilglicerol

TAG Triacilglicerol

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1.	OBJETIVOS .....	17
1.1.1.	<b>Objetivo geral.....</b>	17
1.1.2.	<b>Objetivos específicos.....</b>	17
<b>2</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
3.1	ÁCIDOS GRAXOS <i>TRANS</i> .....	19
3.1.1	<b>Aspectos gerais .....</b>	<b>19</b>
3.1.1.1	<i>Definição química.....</i>	20
3.1.1.2	<i>Origem dos ácidos graxos trans .....</i>	22
3.1.2	<b>Utilidade para a indústria .....</b>	<b>26</b>
3.1.3	<b>Impacto na saúde .....</b>	<b>28</b>
3.1.4	<b>Avanços no campo regulatório brasileiro e internacional .....</b>	<b>29</b>
3.1.4.1	<i>América do Norte.....</i>	31
3.1.4.2	<i>América do Sul e América Central .....</i>	32
3.1.4.3	<i>Europa .....</i>	34
3.1.4.4	<i>Ásia .....</i>	34
3.1.4.5	<i>Oriente Médio .....</i>	34
3.1.4.6	<i>África .....</i>	35
3.1.4.7	<i>Oceania.....</i>	35
3.2	FORMULAÇÕES “ZERO TRANS” .....	36
3.2.1	<b>Tendências de mercado .....</b>	<b>36</b>
3.2.1.1	<i>Medidas regulatórias e o consumidor .....</i>	38
3.2.2	<b>Técnicas usualmente empregadas .....</b>	<b>39</b>
3.2.2.1	<i>Blending .....</i>	40
3.2.2.2	<i>Hidrogenação .....</i>	40
3.2.2.3	<i>Fracionamento.....</i>	43
3.2.2.4	<i>Interesterificação .....</i>	43
3.2.3	<b>Desenvolvimento e aplicação de gorduras zero trans em produtos de panificação.....</b>	<b>47</b>

<b>3.3</b>	<b>GLICERÓLISE.....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Mecanismo de reação, características, aplicações e desafios da glicerólise ....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Produção de bases lipídicas por glicerólise enzimática .....</b>	<b>57</b>
<b>3.4</b>	<b>OBTENÇÃO DE BASES LIPÍDICAS .....</b>	<b>60</b>
<b>3.4.1</b>	<b>A glicerólise enzimática como alternativa tecnológica para a produção de lipídios estruturados .....</b>	<b>61</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a variedade dos ácidos graxos ingeridos na dieta tem sido motivo de discussão desde meados do século XX, período em que o consumo excessivo de gorduras saturadas foi reconhecido como um fator de risco para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares (DVC). Por isto, em 1990, a *Food and Drug Administration* (FDA) tornou obrigatória a rotulagem de produtos alimentícios nos Estados Unidos, a fim de facilitar o acesso do consumidor às informações nutricionais de seu alimento, e, em 2003, a ANVISA tomou a mesma atitude em relação à rotulagem no Brasil. (USDA, 1980; BRASIL, 2003; KODALI, 2014).

A rotulagem impulsionou a demanda por alimentos com teores reduzidos de gorduras saturadas, fato que fez a indústria substituir as gorduras animais saturadas, convencionalmente usadas na época, por óleos e gorduras parcialmente hidrogenados (OGPH) de fontes vegetais insaturadas. Mas, posteriormente, descobriu-se que o processo de hidrogenação parcial de óleos vegetais (HPOV) produz grandes quantidades residuais de ácidos graxos *trans* (AGT), os quais têm impacto ainda mais negativo na saúde cardiovascular do que a gordura saturada em si (MOZAFFARIAN; CLARKE, 2009; DAMODARAN *et al.*, 2010; BLOCK *et al.*, 2017).

Diversas medidas para restringir a utilização de OGPH e eliminar os AGT em formulações alimentícias já foram adotadas, no âmbito político tanto brasileiro quanto internacional. Neste sentido, desde 2004, a Organização Mundial da Saúde (OMS) preconiza estas mudanças como metas a serem mundialmente seguidas e, logo em 2008, o Brasil assinou uma declaração de cooperação entre o setor público e a indústria de alimentos para alcançá-las (WHO, 2004; OPAS, 2008).

Após 10 anos desta declaração ter sido assinada houve muitos avanços sobre o assunto, mas constatou-se que ações voluntárias estavam sendo insuficientes para se alcançar o objetivo proposto. Sendo assim, estratégias foram descritas no “Plano de Ação para Eliminar Ácidos Graxos *Trans* da Produção Industrial 2020-2025” (PAHO, 2020). O Brasil pretende segui-las, limitando o teor de AGT e banindo OGPH até 1º de janeiro de 2023, conforme estipulado na Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 332 de 2019 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (BRASIL, 2019).

Tendo isto em mente, o desenvolvimento de novos produtos alimentícios tem sido estimulado. De acordo com Block *et al.* (2017), esta fase de adaptação é um momento

desafiador para a indústria, a qual está sendo motivada a inovar nas tecnologias, nos ingredientes e nas formulações, a fim de produzir alimentos economicamente e sensorialmente viáveis. No entanto, é imprescindível que políticas públicas de educação nutricional e rotulagem sejam efetivamente aplicadas para que os consumidores possam fazer escolhas alimentares mais saudáveis.

Um fato relevante sobre o tema é que produtos de panificação, principalmente biscoitos, representam uma das maiores fontes alimentares de AGT. São necessários lipídios com características específicas de teor de gordura sólida e perfil de fusão para produzi-los, e os OGPB já se mostraram opções altamente convenientes para a indústria, tendo em vista o baixo custo de produção e alta aceitabilidade pelos consumidores quando aplicados em formulações alimentícias (DAMODARAN *et al.*, 2010; AUED-PIMENTEL; KUS-YAMASHITA, 2020).

As soluções empregadas atualmente para substituir a HPOV são o fracionamento, principalmente do óleo de palma, e a interesterificação química. Entretanto, o uso excessivo do óleo de palma e os compostos tóxicos utilizados para realizar a catálise química são contrapontos que devem ser considerados. Assim, faz-se necessário explorar novas matérias-primas lipídicas e tecnologias para desenvolver lipídios estruturados (TONG *et al.*, 2021; AUED-PIMENTEL; KUS-YAMASHITA, 2020; SIVAKANTHAN; MADHURJITH, 2020).

Neste sentido, a glicerólise enzimática é uma técnica promissora não convencional, capaz de estruturar lipídios para finalidades específicas, e que merece atenção. Sua aplicação se justifica pela viabilização do uso de fontes alternativas de óleos, consequentemente reduzindo o uso do óleo de palma, e pelo baixo custo e alta disponibilidade do glicerol no mercado (NICHOLSON; MARANGONI, 2020; MAMTANI *et al.*, 2021; TEMKOV; MURESAN, 2021).

Diante destes fatos, este estudo objetivou fazer, inicialmente, uma revisão bibliográfica sobre questões técnicas e regulatórias que circundam os AGT para, então, abordar os obstáculos e as inovações que têm surgido devido à publicação de legislação brasileira que determina o banimento destas substâncias da formulação de alimentos (BRASIL, 2019). Por fim, avaliou-se a implementação da glicerólise enzimática como uma alternativa tecnológica para a produção de lipídios estruturados zero *trans*, com foco em produtos de panificação, especialmente, biscoitos.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo geral

Fazer uma revisão bibliográfica acerca de aspectos nutricionais, tecnológicos e regulatórios sobre ácidos graxos *trans* em alimentos, indicando alternativas para a obtenção de lipídios estruturados zero *trans*, com foco na glicerólise enzimática.

### 1.1.2. Objetivos específicos

Fazer uma comparação entre as novas legislações sobre rotulagem nutricional no Brasil e no exterior;

Apresentar as tendências de redução de ácidos graxos saturados e *trans* na formulação de alimentos;

Fazer uma revisão bibliográfica sobre reações de glicerólise, com foco no processo enzimático;

Apresentar o estado da arte sobre a aplicação da glicerólise como alternativa tecnológica para a substituição de lipídios na formulação de alimentos, visando a redução dos teores de ácidos graxos *trans*, com foco em produtos de panificação e, especificamente, biscoitos.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia aplicada no presente trabalho foi feita por meio de uma revisão bibliográfica, em bases de dados nacional e internacional, realizada entre novembro e dezembro de 2021. A busca nas bases de dados recuperou artigos relacionados aos diferentes assuntos abordados ao longo deste trabalho. Os critérios de inclusão foram artigos de revisão referentes à produção de lipídios estruturados, com foco em glicerólise; artigos originais que abordaram o desenvolvimento de lipídios estruturados (especialmente por meio de reações de interesterificação) e a aplicação em alimentos de panificação; e artigos originais que envolvessem estudos práticos sobre a aplicabilidade da glicerólise em diferentes bases lipídicas, principalmente destinadas a produtos de panificação.

Para realizar a pesquisa de trabalhos científicos, foram utilizadas as seguintes bases de dados: Catálogo de teses e dissertações CAPES, “*Science direct*”, “*Google Scholar*”, “*Scopus*” e “*Scielo*”. Nelas, as palavras-chave empregadas na busca simples foram: “*glycerolysis*”, “*structured lipid*”, “*monoacylglycerols*”, “*monoglycerides*”, “*diacylglycerols*”, “*diglycerides*”, “*zero trans*”, “*trans free*”, “*bakery*”, “*cookies*”, “*biscuit*”, “*dough*”, “*cake*”. Ademais, não foram estabelecidas restrições quanto ao idioma ou ano de publicação.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 ÁCIDOS GRAXOS *TRANS***

##### **3.1.1 Aspectos gerais**

Lipídios são compostos biológicos que possuem diversas formas estruturais, mas que são geralmente caracterizados por serem insolúveis em água e extraídos por solventes apolares. Entretanto, devido à complexidade e heterogeneidade destas substâncias, essa definição apresenta contrapontos. Isto porque alguns lipídios são solúveis em água e extraídos por solventes polares, como é o caso dos ácidos graxos que possuem de 1 a 4 carbonos em sua estrutura, ou podem ainda ter origem tecnológica, como alguns tipos de AGT (O'KEEFE, 2008; NELSON; COX, 2014).

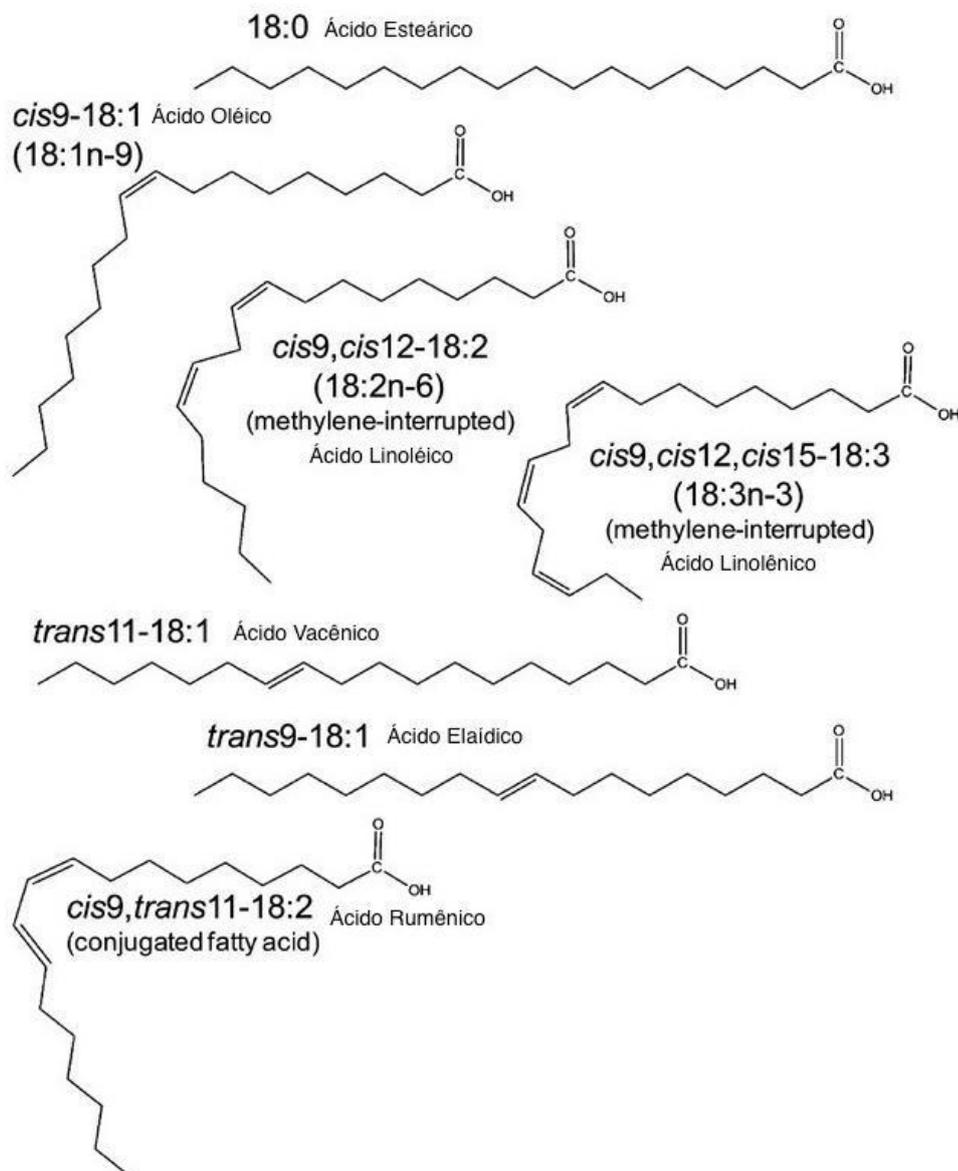
Neste sentido, lipídios são derivados de ácidos graxos, os quais são ácidos carboxílicos formados por cadeias hidrocarbonadas de comprimento, saturação e geometria variados, que podem se esterificar a uma molécula de glicerol para formar mono-, di- e triacilgliceróis (NELSON; COX, 2014).

Existem diversos tipos de lipídios, sendo que alguns deles são provenientes de fontes naturais e outros de fontes industriais. Parte daqueles que são normalmente encontrados em produtos de panificação e serão abordados ao longo deste trabalho, e estão apresentados na Figura 1 (DESTAILLATS *et al.*, 2014).

É importante mencionar que a grande maioria dos ácidos graxos, quando encontrados em tecidos vivos, estão esterificados com o glicerol. Isto acontece porque ácidos graxos livres possuem a capacidade de romper a membrana celular, ou seja, são citotóxicos. Logo, apresentam-se esterificados para reduzir sua toxicidade no organismo (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Sendo assim, esta seção do trabalho irá tratar especificamente de questões que circundam os AGT.

**Figura 1** - Ácidos graxos normalmente encontrados em produtos de panificação.



Fonte: adaptado de Aldai *et al.* (2013)

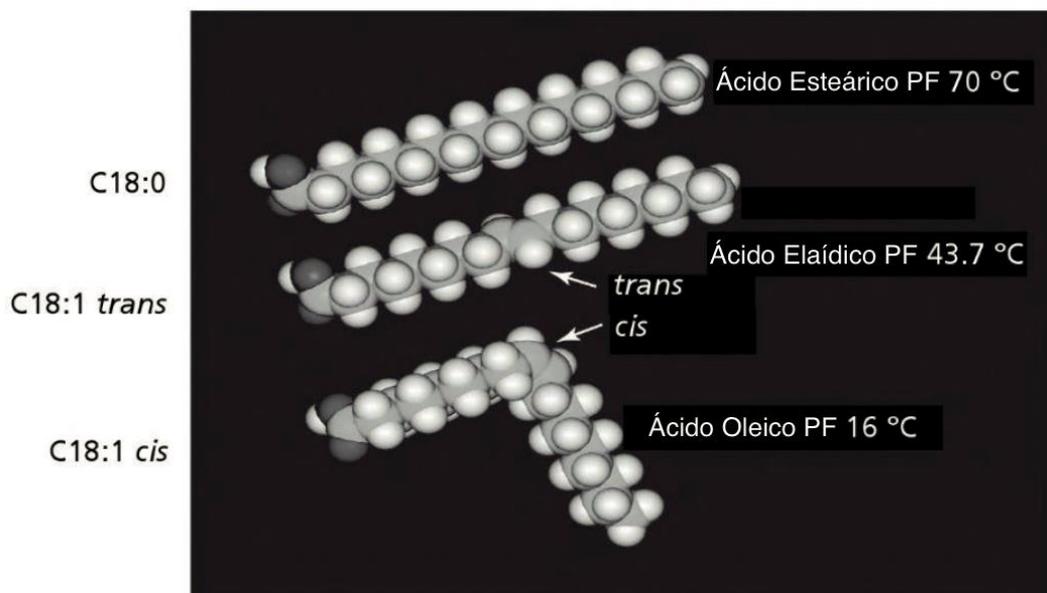
### 3.1.1.1 Definição química

Os ácidos graxos que apresentam ligações duplas em suas cadeias são denominados de ácidos graxos insaturados. Estes podem apresentar isomeria posicional, com insaturações, ramificações ou grupos funcionais em posições diferentes, ou isomeria geométrica, em que os hidrogênios da ligação dupla podem estar lado a lado no plano espacial da dupla ligação, na

configuração *cis*, ou de lados opostos do plano espacial da dupla ligação, na configuração *trans* (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

Neste sentido, em seu Relatório de Análise de Impacto Regulatório sobre o tema, a ANVISA (p. 11, 2019) define AGT como “[...] todos os tipos de ácidos graxos insaturados que têm, pelo menos, uma dupla ligação na conformação *trans*.” Ou seja, os ácidos graxos insaturados podem formar isômeros geométricos que se diferenciam unicamente pela conformação estereoquímica de suas moléculas. Mas vale lembrar que as diferentes formas de distribuição espacial da mesma molécula resultam em características físico-químicas diferentes, como ponto de fusão (PF), solubilidade e propriedade nutricional, conforme vê-se na Figura 2 (KODALI, 2014).

**Figura 2** - Modelos de preenchimento de espaço da molécula de ácido esteárico (C18:0), ácido eláidico (C18:1 *trans*-9) e ácido oleico (C18:1 *cis*-9) e seus respectivos Pontos de Fusão (PF).



Fonte: adaptado de Kodali (2014)

Estas características serão abordadas na seção 3.1.2.

### 3.1.1.2 Origem dos ácidos graxos trans

Conforme já foi dito, ácidos graxos insaturados podem formar estereoisômeros *cis* e *trans*. Destes, a versão *cis* ocorre naturalmente em óleos e gorduras com maior frequência e apresenta PF inferior, podendo ser isomerizada para sua versão *trans* quando submetida a determinadas circunstâncias (KODALI, 2014).

Características como o tipo de ácido graxo que originou o estereoisômero *trans* e a circunstância que fez com que ele sofresse a isomerização influenciam na possibilidade de serem sintetizadas quantidades e formas diferentes de AGT. A origem pode ser industrial ou natural, e que podem causar diferentes efeitos na saúde do consumidor, mas o produto final possui diferenças químicas estruturais sutis (DESTAILLATS *et al.*, 2014).

Isto posto, a fonte mais significativa de consumo de AGT em produtos alimentícios são as OGP, que podem conter até 60% de AGT. Este ingrediente é produzido industrialmente pela técnica de hidrogenação parcial de óleos, sendo usado em diversos alimentos industrializados como margarinas, *shortenings*, pratos congelados, massas instantâneas, produtos de panificação, chocolates e sorvetes (ANVISA, 2021).

O termo *shortening* é usado como designação de gorduras sólidas, animais ou vegetais, produzidas para serem empregadas em formulações de alimentos assados. Características relevantes para um *shortening* são sua consistência à temperatura ambiente, sua proporção de gordura sólida para óleo líquido e seu comportamento de cristalização (SENANAYAKE; SHAHIDI, 2020).

É importante salientar que, durante a hidrogenação parcial, o isômero de AGT formado em maior quantidade é o ácido elaídico (18:1 *trans*-9). Isto porque os óleos vegetais possuem grandes quantidades de ácido oleico (18:1), e este pode ser hidrogenado em ácido esteárico (18:0) ou isomerizado a ácido elaídico (AMRUTHA KALA, 2012; GANGULY; PIERCE, 2015).

O mecanismo de reação da hidrogenação será melhor abordado na seção 3.2.2 deste trabalho, enquanto que as vantagens que ela garante à indústria serão tratados na seção 3.1.2. Mas, em suma, é um processo tecnológico que adiciona hidrogênio às ligações duplas de

moléculas insaturadas, alterando suas propriedades físico-químicas (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

Em continuidade, outra fonte industrial de AGT são os óleos vegetais de cozinha refinados, isto em função das técnicas de processamento empregadas nestes produtos. Assim, a fase de desodorização pode geralmente promover a isomerização de 2% de AGT, visto que é necessário tratamento térmico para realizá-la (KODALI, 2014; ANVISA, 2021).

Neste sentido, é necessário explicar que a desodorização remove os compostos voláteis ao realizar, sob temperaturas elevadas e pressão reduzida, a destilação por arraste de vapor (DAMODARAN *et al.*, 2010). Sendo assim, Kemény *et al.* (2001) constataram que, após a fase de desodorização, a isomerização dos ácidos linoleico e linolênico para a conformação *trans* aumentou em até 6% e 65%, respectivamente, dependendo da temperatura e do tempo de processo adotados. O aumento expressivo de ácido linolênico em comparação ao outro se explica pela instabilidade que a insaturação confere ao composto (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Para evitar a isomerização dos ácidos graxos no óleo vegetal de cozinha, Martin *et al.* (2007) salientam que a solução é usar temperaturas abaixo de 200 °C durante o processo de refinamento, minimizando a produção de AGT.

Outra origem industrial de AGT nos alimentos é o processo de fritura industrial e caseira. Devido às temperaturas utilizadas, este processo é capaz de realizar a isomerização de lipídios insaturados, de suas configurações *cis* para *trans*, mas também é importante lembrar que esta técnica reduz a biodisponibilidade e o valor nutricional dos ácidos graxos presentes (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Contudo, esta última fonte de AGT não é tão significativa quanto as anteriores. Szabo *et al.* (2022) investigaram a formação desses compostos em óleos comerciais de palma, soja, colza, girassol e oliva durante a fritura caseira (10 sequências de aquecimento consecutivas, de 180 °C por 5 minutos) e puderam constatar que, mesmo eles tendo sido de fato formados (o maior aumento foi detectado no óleo de colza, de 223%), as quantidades observadas não eram suficientes para causar impacto significativo na ingestão diária de AGT (permaneceram com concentração de AGT abaixo de 0,25%).

A ANVISA (2021), por meio do “Documento de Perguntas e Respostas sobre Requisitos para uso de Gorduras *Trans* Industriais em Alimentos”, já se pronunciou sobre o

assunto no sentido de que os óleos refinados e o processo de fritura são, de fato, considerados fontes de AGT, mas que não representam a mesma ameaça que os OGP, pois contêm menores quantidades dos isômeros.

Seguindo com as diferentes origens, por fim, existem ainda as fontes biológicas de AGT. Neste caso, a síntese dos isômeros é feita exclusivamente por animais ruminantes, como por exemplo vacas, cabras e búfalos, e estes lipídios permanecem presentes em pequenas quantidades nos alimentos que são derivados destes animais, como carne, manteiga, leite e queijo (DESTAILLATS *et al.*, 2014).

A síntese biológica dos AGT é iniciada naturalmente por microrganismos que existem no rúmen desses animais, os quais realizam a hidrólise dos triacilgliceróis para que a isomerização do ácido linoleico em ácido linoleico conjugado (CLA) possa ocorrer. Então, em um segundo momento, o CLA passa pelo processo de biohidrogenação com a finalidade de converter os ácidos graxos insaturados (AGI) em ácidos graxos saturados (AGS) (DAMODARAN *et al.*, 2010).

A biohidrogenação ocorre devido à toxicidade dos AGI para o organismo dos ruminantes, mas, em termos práticos, este mecanismo não é realizado sob capacidade máxima e pode ser alterado por diferentes fatores. Por isto, diversos compostos intermediários são formados e os produtos derivados destes animais apresentam vários tipos de ácidos graxos diferentes (DAMODARAN *et al.*, 2010; MAIA *et al.*, 2007).

Destes compostos, os predominantes são o ácido vacênico (18:1 *trans*-11) e o ácido rumênico (18:2 *cis*-9 *trans*-11), respectivamente. Mesmo estes sendo os isômeros *trans* de origem biológica mais recorrentes, eles são formados em baixas concentrações e, para que sua produção aumente, o animal deve ter alimentação rica em fontes polinsaturadas (VARGAS-BELLO-PÉREZ *et al.*, 2015; VARGAS-BELLO-PÉREZ *et al.*, 2018).

Os estudos feitos por Krogager *et al.* (2015) e Valenzuela *et al.* (2021) demonstraram que as variedades biológicas de AGT possuem propriedades diferentes daquelas obtidas por processos industriais. Assim, o AGT industrial presente em maior quantidade é o ácido elaídico, que aumenta o estímulo inflamatório da aterosclerose, enquanto que o AGT biológico em maior quantidade é o ácido vacênico, que possui características anti-inflamatórias.

Entretanto, o entendimento da OMS neste aspecto é divergente do anterior. Por causa da quantidade limitada de estudos de qualidade sobre os AGT biológicos, ainda há dúvida sobre o assunto. Assim, esta organização afirma que os isômeros de origem biológica e industrial têm o mesmo efeito no perfil de lipídios do sangue (BROUWER, 2016).

Outros compostos biológicos supostamente benéficos são alguns isômeros dos CLA, como o ácido rumênico e o 18:2 *trans*-10 *cis*-12, que pertencem ao grupo de 28 isômeros posicionais e geométricos do ácido linoleico obtidos naturalmente pela biohidrogenação. Eles já foram relacionados a efeitos benéficos no organismo, como resistência à insulina, inibição de câncer, homeostase de colesterol e obesidade e redução de doenças cardiovasculares (COMBE *et al.*, 2007; HEGAZY *et al.*, 2019; O'REILLY *et al.*, 2020; DACHEV *et al.*, 2021).

Mas, ainda assim, a OMS tem entendimento contrário, visto que não foi possível realizar uma análise específica dos efeitos dos CLA sobre a saúde humana. Isto porque eles existem em pequenas quantidades em uma dieta comum e, desta forma, as pesquisas que foram feitas com CLA naturais tinham quantidades muito pequenas da substância sendo ingerida (menos de 1% da ingestão total de energia da dieta), enquanto que as pesquisas que foram feitas com CLAs artificiais, como suplementos alimentares, resultaram em efeitos similares aos dos AGT industriais. (BROUWER, 2016).

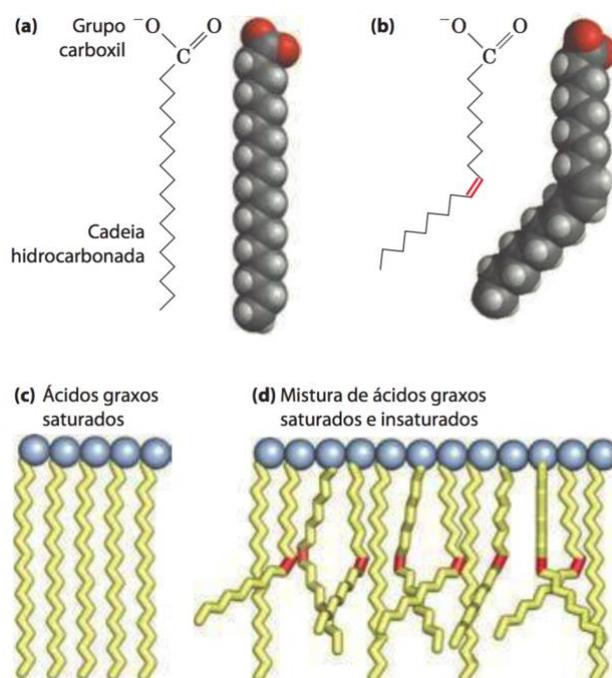
A quantidade de CLA em produtos derivados de ruminantes é um reflexo de fatores como o período sazonal, a nutrição e a genética do animal. Conseqüentemente, quantidades maiores de CLA estão presentes em animais criados em locais onde o verão é longo e o inverno curto (ZONGO *et al.*, 2021), assim como em animais alimentados com níveis altos de fontes polinsaturadas (MULVIHILL, 2001). E, devido ao fato de que alguns isômeros de CLA têm se mostrado relevantes por suas características benéficas, os produtores passaram a manipular a alimentação dos animais ruminantes a fim de aumentar a síntese destes compostos durante a biohidrogenação (MARTIN *et al.*, 2007).

A indústria tentou reproduzir industrialmente os CLA por meio da isomerização alcalina do ácido linoleico para utilização em forma de suplemento alimentar. A partir deste processo, foram produzidos CLA sintéticos mas, por apresentarem efeitos negativos similares aos dos AGT industriais, também são considerados como uma fonte de AGT e seu uso é proibido no Brasil (ANVISA, 2021; BROUWER, 2016).

### 3.1.2 Utilidade para a indústria

A quantidade e a configuração das ligações duplas influencia diretamente no PF do ácido graxo, ditando se ele apresentará comportamento líquido ou sólido à temperatura ambiente (NELSON; COX, 2014). Quando o ácido graxo não apresenta duplas ligações, a molécula tem configuração linear e é altamente estável, com textura sólida à temperatura ambiente. Quando apresenta ligações duplas na conformação *cis*, a molécula se torna curvada pelo impedimento espacial causado pelos hidrogênios presentes, conforme Figura 3, fazendo com que as forças de interação intermoleculares sejam fracas e, conseqüentemente, tornando sua textura mais líquida (DAMODARAN *et al.*, 2010).

**Figura 3** - Impacto da ligação dupla na conformação do ácido graxo.



Fonte: Nelson e Cox (2014).

Com relação aos AGT, entretanto, não existe impedimento espacial, já que os átomos de hidrogênio estão distribuídos em lados opostos da molécula. Neste caso, o isomerismo

conformacional aumenta o seu PF, tornando mais densa e ordenada à temperatura ambiente a estrutura de ácidos graxos insaturados *trans*, de forma similar aos ácidos graxos saturados (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Sendo assim, o isômero *trans* apresenta comportamento termodinâmico mais estável que o isômero *cis*. Logo, o benefício tecnológico na utilização de isômeros *trans* pela indústria alimentícia está em produzir alimentos com gorduras vegetais insaturadas estáveis, isto não só para reduzir o teor de gorduras saturadas dos ingredientes de formulações, mas também para atender aos requisitos de textura desejados para substitutos destes ingredientes (KODALI, 2014).

Diferente dos óleos (insaturados), as gorduras (saturadas ou *trans*) fornecem uma melhor consistência, sabor e durabilidade a produtos de panificação. Isto acontece porque as gorduras, além de terem as características necessárias para fornecer sabor, flexibilidade e dureza às massas, conferem também maior resistência à oxidação, que causa os sabores indesejáveis da rancidez e afeta diretamente a vida útil do produto (KODALI, 2014).

O estado físico do lipídio usado em formulações impacta diretamente no ponto de fusão e nas propriedades reológicas do produto final. Isto acontece porque os cristais de gordura da matriz lipídica formam uma rede tridimensional e, dependendo da concentração e da morfologia que apresentam, interagem de formas diferentes, influenciando a textura, a aparência e o sabor dos alimentos (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Neste sentido, os produtos no Brasil com os maiores índices de AGT são os produtos de panificação, como biscoitos e bolachas, e também doces e sobremesas, salgadinhos, hambúrgueres e alimentos de conveniência, como relatado em diversos trabalhos científicos (DIAS *et al.*, 2018; RICARDO *et al.*, 2019; AUED-PIMENTEL; KUS-YAMASHITA, 2020).

Além disso, outro benefício que as gorduras *trans* fornecem para a indústria é a redução de custo para a elaboração de um alimento. Por vezes, produtos que contêm gordura *trans* obtida pelo processo parcial de hidrogenação podem ter menor valor monetário quando comparados aos produtos similares que não possuem este ingrediente (ANVISA, 2021).

### 3.1.3 Impacto na saúde

Há diversos indicativos na literatura sobre a repercussão dos AGT na saúde. Wang *et al.* (2016) fizeram um levantamento de informações sobre o consumo de diferentes tipos de gordura por homens e mulheres de diversas idades e localidades, identificando uma heterogeneidade nos dados. Neste sentido, foi possível concluir que, mundialmente, a mortalidade causada por doenças cardiovasculares está atrelada ao consumo excessivo de, principalmente, AGT e, em menor extensão, AGS, bem como o consumo insuficiente de AGPI (WANG *et al.*, 2016).

Outro estudo sobre o consumo de AGT foi feito por Mozaffarian e Clarke (2009), a fim de prever os efeitos de OGPB sobre o risco de doenças cardiovasculares. Os resultados apontaram que os AGT presentes neste ingrediente, quando comparados aos ácidos graxos monoinsaturados (AGMI), poliinsaturados (AGPI) e AGS, são capazes de aumentar a razão de colesterol total por lipoproteínas de alta densidade (TC/HDL), o nível de apolipoproteína B (ApoB) e o de lipoproteína A (LpA), bem como são capazes de diminuir o colesterol de lipoproteínas de baixa densidade (LDL) e o nível de apolipoproteína A1 (ApoA1). Os ensaios dietéticos randomizados foram feitos brevemente, dentro de um período de 4 a 5 semanas. Ou seja, independentemente do consumo de outras fontes lipídicas, os AGT afetam, a curto prazo, tanto as concentrações de lipídios no sangue, quanto os níveis de apolipoproteínas (MOZAFFARIAN; CLARKE, 2009).

Ainda, neste mesmo estudo foi possível estimar que, ao substituir 2% do consumo de carboidratos por AGT, de mesmo valor energético, o risco de doenças cardiovasculares sobe 23%. Ainda, ao substituir 7,5% do consumo de OGPB, com 35% ou 45% de AGT, por qualquer outro tipo de óleo ou gordura, até mesmo manteiga, banha e óleo de palma, o risco destas doenças diminui de 12-20% (MOZAFFARIAN; CLARKE, 2009).

Ainda, a OMS publicou uma revisão sistemática com análise de meta-regressão de diversas pesquisas relevantes, onde confirma os efeitos dos AGT no organismo humano relatados acima. Sendo assim, concluíram que, ao realizar a substituição de gorduras *trans* pelas *cis*-AGPI, os teores de colesterol, LDL, e ApoB são reduzidos, enquanto que os teores de HDL, LDL/HDL e TC/HDL são aumentados (BROUWER, 2016).

Outro estudo feito sobre o efeito de OGPB analisou a incorporação dos AGT em órgãos de ratos. Nele, os autores concluíram que, em uma dieta com 33% de fração lipídica em isômeros *trans* e 0,7% de ácidos linoleico e  $\alpha$ -linolênico, 14% dos AGT foram incorporados no fígado e 8,6% no coração dos animais (SABARENSE; MANCINI FILHO, 2003).

Além de causar danos cardiovasculares, os AGT também já foram vinculados como causadores de resistência à insulina, infertilidade em mulheres, comprometimento do desenvolvimento fetal e declínio cognitivo (BHARDWAJ *et al.*, 2012). Por todas as evidências de malefícios causados à saúde, a *American Heart Association* (AHA) já se pronunciou no sentido de que os AGT devem ser excluídos da dieta humana, por nível de evidência do tipo A e grau III de recomendação (IZAR *et al.*, 2021).

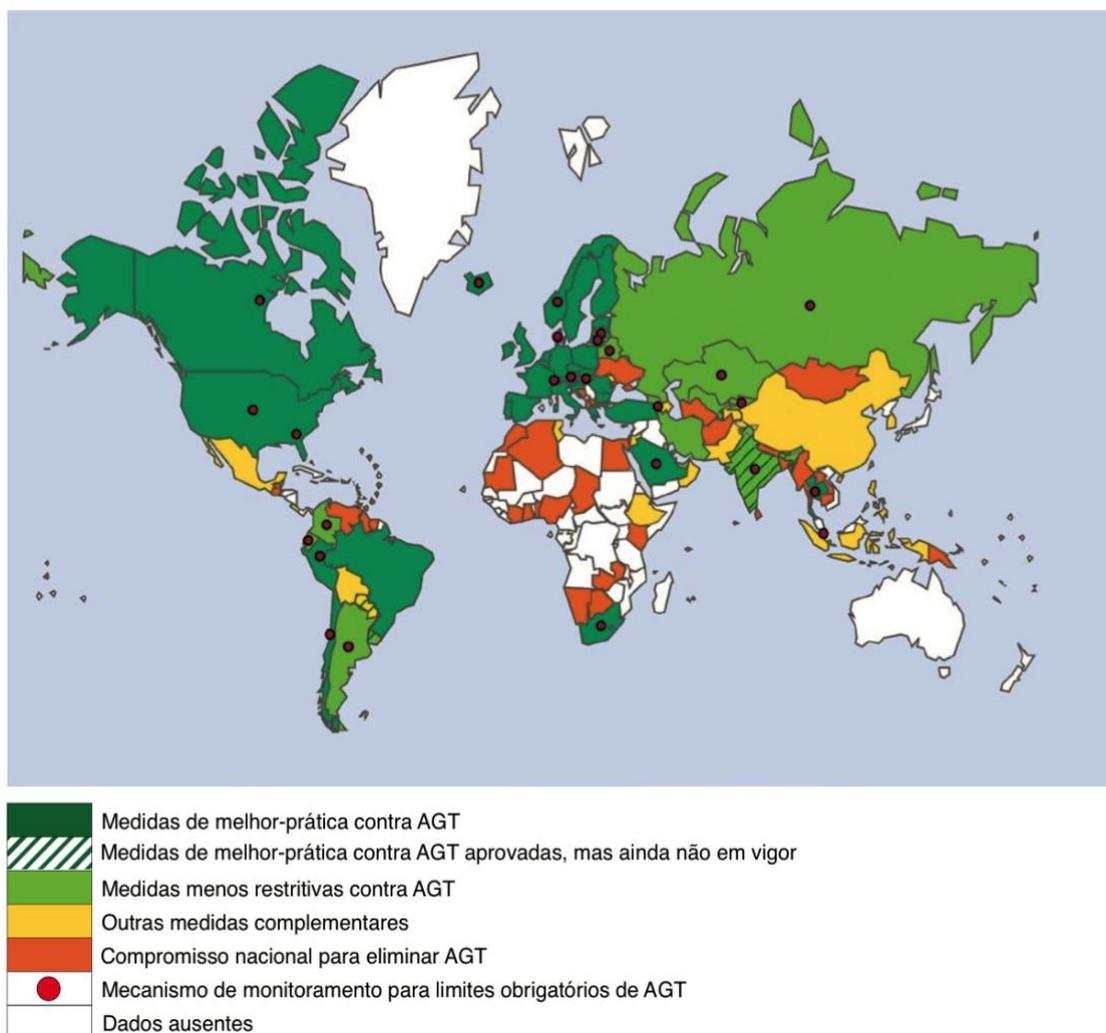
#### **3.1.4 Avanços no campo regulatório brasileiro e internacional**

A preocupação com a saúde pública é algo que já vem sendo discutido há muito tempo e, de fato, medidas têm sido tomadas ao longo dos anos, inclusive no que diz respeito aos lipídios ingeridos na dieta. Neste sentido, em 1995, já havia sido reconhecida, por meio de uma consulta conjunta entre a OMS e a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), a relação entre os isômeros *trans*, presentes em OGPB, e a alteração dos índices de HDL e LDL no sangue (WHO, 1995).

Em 2004, a OMS deu enfoque para a problemática causada pelas gorduras *trans*, fazendo um apelo para que todas as nações colocassem em prática medidas regulatórias para eliminar o uso dos OGPB (WHO, 2004).

Para reforçar a importância do assunto, em 2018, este órgão propôs estipular o banimento global da substância até o ano de 2023. Ainda, lançou a plataforma REPLACE, que facilita o acesso às informações fundamentais acerca do tema e fornece um mapa (Figura 4) que monitora o avanço do objetivo proposto (WHO, 2021).

**Figura 4** - Mapa que retrata o desempenho de cada país na implementação de medidas contra ácidos graxos *trans*.



**Fonte:** adaptado de WHO (2021)

Desde então, muitos esforços foram feitos para alcançar este objetivo. Assim, para auxiliar na implementação de políticas com esta finalidade, a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) publicou um guia estratégico para eliminar os AGT, que preconiza limitar em 2% o teor de isômeros *trans* produzidos industrialmente (2g/100g de gorduras totais) em todos os produtos alimentícios e, ainda, proibir a produção e o comércio de todos os OGPB (OPAS, 2020).

Isto posto, um breve relato sobre as experiências de cada continente vem a seguir.

### 3.1.4.1 América do Norte

Nos anos 80, o *United States Department of Agriculture* (USDA) (1980) publicou o primeiro guia alimentar para instruir a população americana a tomar decisões nutricionais mais saudáveis e, desde aquela época, era feita a recomendação de reduzir o consumo de gordura saturada e colesterol. Em 1990, o FDA publicou uma proposta para que a rotulagem nutricional fosse instituída nos Estados Unidos e, em 1993, foi feita a proposta final, que estabelecia como obrigatória a rotulagem a partir de maio de 1994. Entretanto, somente gorduras totais e saturadas deveriam ser declaradas, deixando de incluir as gorduras insaturadas e *trans*, pois suas implicações à saúde ainda eram inconclusivas (FDA, 1993).

Toda essa alteração foi efetiva em causar preocupação nos consumidores com relação à ingestão de gorduras, principalmente saturadas. Consequentemente, a indústria alimentícia foi impactada pela rejeição de alimentos ricos em AGS e teve que substituir as gorduras animais e os óleos tropicais por óleos vegetais parcialmente hidrogenados (KODALI, 2014).

No entanto, uma petição pública foi feita em 1994 com a argumentação de que muitas evidências apontavam que as gorduras *trans*, de fato, aumentavam os níveis de colesterol no sangue e, por isso, também representavam um risco para a ocorrência de doenças cardiovasculares (DCV). Logo, deveriam ser incluídas na rotulagem de alimentos (FDA, 2003).

Foi dessa forma que, no ano de 1999, o FDA mudou sua opinião sobre gorduras *trans* e publicou uma nova proposta, incluindo a quantidade de AGT como informação obrigatória nos rótulos, caso o produto contivesse 0,5g ou mais desta gordura por porção. Ainda, a porcentagem de valor diário (%VD) para gorduras *trans* deveria ser seguida de uma frase afirmando que a ingestão desta substância deveria ser a mais baixa possível (FDA, 2003).

Enfim, foi feita uma proposta final sobre o assunto em 2003 e esta regulamentação se tornou efetiva, sendo necessária a informação de AGT nos rótulos nutricionais, a partir de janeiro de 2006 (FDA, 2003).

Todavia, nesse ínterim, os CLA foram aprovados pelo FDA como seguros para consumo em 2008, recebendo o título de “Geralmente Considerado Seguro” (*Generally Regarded as Safe* - GRAS) e passando a ser excluídos da categoria de AGT nos rótulos, mesmo tecnicamente sendo AGT (FDA, 2008; DEN HARTIGH, 2019).

Seguindo uma linha oposta, o FDA determinou, em 2013, que os OGPB não são GRAS, tornando-os aditivos alimentares que devem ser limitados ao máximo na dieta. A determinação final foi publicada em 2015 e, então, em junho de 2018, deixaram de ser permitidos em alimentos (FDA, 2018). Como essa proibição impacta diversos setores alimentícios, e ponderando que, com um prazo maior de adequação, a transição seria melhor ordenada pela indústria, o FDA estendeu a data de conformidade para certos usos de OGPB para 1º janeiro de 2020 (FDA, 2018).

Nestes termos, o Canadá teve entendimento análogo ao dos EUA e também, desde o início dos anos 2000, vem impondo rotulagem obrigatória dos alimentos. Mas, inicialmente, a redução de AGT em alimentos industrializados era voluntária, e o monitoramento do progresso não se mostrou efetivo em retirar os OGPB destes produtos (HEALTH CANADA, 2017).

Então, em 2015, o Ministro da Saúde do país recomendou o uso de regulamentações mais limitadoras como as dos EUA e, assim, em 2016, a proposta de proibir o uso de OGPB em alimentos foi feita para a população. Um tempo de deliberação precisou ser tomado até que, em 2017, o aviso da proibição dos OGPB foi feito, e o setor industrial daquela região recebeu um prazo de 12 meses para se adequar (HEALTH CANADA, 2017).

#### *3.1.4.2 América do Sul e América Central*

Das Américas do Sul e Central, o primeiro país a ter medidas regulatórias foi o Chile, em 2011; depois foi a Colômbia, em 2013; então vieram a Argentina e o Equador, em 2014; o Uruguai, em 2019; e, futuramente, haverá o Paraguai, em 2022. Todos sob limites de 2% de AGT para óleos e gorduras, e limite de 5% para os demais alimentos (WHO, 2021).

Dentre os países que têm limite de 2% para todos os óleos e alimentos estão o Brasil, desde legislação publicada em 2021, e o Uruguai e o Paraguai, adiante em 2022 e 2024, respectivamente. Ainda, a prática de banimento dos OGPB foi adotada pelo Peru, em 2021, e pelo Brasil, futuramente em 2023 (WHO, 2021).

Sobre a legislação brasileira, desde 2003 a ANVISA regulamenta a declaração, constante na rotulagem nutricional, da quantidade de AGT em alimentos por meio da RDC nº

360. A legislação em questão preconiza a obrigatoriedade da quantidade de gorduras *trans* quando esta está presente em quantidade maior ou igual a 0,2g por porção, que possui Regulamento Técnico específico para ser determinada (BRASIL, 2003).

No entanto, inovações estão a caminho. A publicação da RDC nº 429 e da IN nº 75, em 2020, indica o cuidado e a cautela do Brasil frente a este tema. Tais normas trazem novidades sobre o assunto de rotulagem nutricional de alimentos embalados, e ambas entrarão em vigor em 9 de outubro de 2022. Consequentemente, a RDC nº 360 e muitas outras serão revogadas (BRASIL, 2020).

Com relação aos AGT, a RDC nº 429 especificou ainda mais a definição de gorduras *trans*, acrescentando o termo “não conjugadas” para diferenciá-las dos CLA. Desta forma, a legislação, em seu inciso XIX do artigo 3º, define gordura *trans* como “[...] triglicerídeos que contêm ácidos graxos insaturados com uma ou mais duplas ligações **não conjugadas** na configuração *trans*, expressos como ácidos graxos livres.” (BRASIL, 2020, grifo nosso).

Já a IN nº 75 trouxe diversas novas informações técnicas sobre o tema. Uma delas é a quantidade máxima para afirmar que um produto não contém gordura *trans*, que passa a ser de 0,1 g por 100g de porção (BRASIL, 2020).

Ademais, a RDC nº 332/2019 foi a medida regulatória que determinou que, a partir de 1º de julho de 2021, tanto os óleos refinados quanto os alimentos destinados ao consumidor final ou aos serviços de alimentação não poderão conter mais de 2 g de gordura *trans* de origem industrial por 100 g de gordura total de produto. Não só isso, o artigo 7º da Resolução supracitada também decretou a proibição da produção, importação, uso e oferta de OGPB para uso em alimentos ou em formulações como ingredientes a partir de 1º de janeiro de 2023 (BRASIL, 2019).

Por fim, a RDC nº 514/2021 da ANVISA trouxe alterações sobre os prazos de comercialização. Neste sentido, os óleos refinados que excedam o limite de 2% permitido, mas que tenham sido fabricados até o dia 30 de junho de 2021, poderão ser comercializados até o final dos seus prazos de validade. Entretanto, no caso dos alimentos, estes poderão ser comercializados somente até o dia 31 de dezembro de 2022 (BRASIL, 2021).

#### 3.1.4.3 Europa

A região da Europa possui 31 países que impõem limites para a presença de AGT. Dentre eles, três merecem destaque por terem sido os primeiros do mundo a impô-los: a Dinamarca, em 2004, em seguida a Suíça, em 2009, e a Áustria, em 2010 (WHO, 2021).

Não bastasse isso, o continente europeu foi o primeiro a fazer restrições regionais. Assim, em 2015, a União Econômica Eurasiática limitou, para todos os estados membros, as gorduras *trans* em até 20% nos alimentos e, em 2018, reduziu este limite para 2%. Outra informação notável é que, em 2021, todos os países membros da União Europeia passaram a ter medidas regulatórias vigentes para os AGT (WHO, 2021).

#### 3.1.4.4 Ásia

As medidas tomadas pelo continente asiático foram poucas, entretanto a Tailândia, além de ter sido o primeiro país da região a ter implementado ações contra as gorduras *trans* em 2019, foi também o terceiro país do mundo a banir os OGPB, depois do Canadá e dos EUA (WHO, 2021).

Não obstante, a Índia possui limites menos restritivos para o uso dos OGPB desde 2013 mas, ainda no ano de 2022, pretende ser o segundo país do continente a baní-los, ao passo que ela e a Tailândia já possuem mecanismos de monitoramento das medidas. Ainda, Bangladesh, Bhutan, Maldivas, Nepal e Sri Lanka têm o comprometimento com a causa e suas medidas estão em análise para validação (WHO, 2021).

#### 3.1.4.5 Oriente Médio

O Oriente Médio tomou ações rápidas sobre o assunto e, logo em 2012, desenvolveu políticas regionais para a eliminação dos AGT no continente. A política em questão, aprovada em 2015, foi de estabelecer o limite de 2% de gordura *trans* em margarinas, gorduras e óleos

vegetais, e 5% em outros alimentos. No entanto, para que esta regulação entre em vigência, os países do grupo devem aprová-la antes (WHO, 2021).

À vista deste fato, o primeiro país a regular o assunto foi a República Islâmica do Irã, estabelecendo o limite de 2% em 2016, seguido por Bahrain. No ano seguinte, em 2017, o Kuwait e a Arábia Saudita e os Emirados Árabes Unidos implementaram também a regulamentação (WHO, 2021).

No entanto, os esforços da República Islâmica do Irã foram iniciados em 2004, período em que o país formou um plano operacional para reduzir o teor de AGT nos alimentos e, assim, em 2005, os subsídios dos OGPB foram destinados para soluções ao problema e, em 2008, os rótulos nutricionais passaram a ser obrigatórios (WHO, 2021).

#### *3.1.4.6 África*

No continente africano, poucos países possuem a obrigatoriedade de rotulagem alimentar e, muito menos, limites impostos para o uso dos AGT. No entanto, a África do Sul se destaca, pois, desde 2011, possui limites obrigatórios para este composto e mecanismos de monitoramento da medida (WHO, 2021).

Vale mencionar que 12 países do continente já adotaram planos nutricionais com estratégias para eliminar os AGT, firmando compromisso de colaboração com órgãos internacionais. Ademais, tendo em vista a limitação de recursos, a capacidade de regular e os interesses políticos dos países, seria interessante a aplicação de regulamentações regionais sobre o assunto (WHO, 2021).

#### *3.1.4.7 Oceania*

Poucos esforços foram feitos para alcançar o objetivo de limitar os AGT ou banir os OGPB na Oceania. Muitos países firmaram o compromisso, mas Singapura é o único do continente, desde 2021, a ter regulamentações a fim de banir estas substâncias, assim como

também tem mecanismos para monitoramento dos limites das mesmas em alimentos (WHO, 2021).

### 3.2 FORMULAÇÕES “ZERO TRANS”

Vimos, no item 3.1.4 do capítulo anterior, que muitas nações estão usando estratégias regulatórias para limitar os AGT ao máximo e proibir o uso de OGPB em formulações, isto porque a redução do consumo de AGT passou a ser uma preocupação pública internacional devido à crescente taxa de mortes atribuídas às DCV. Isto posto, a procura por produtos “zero *trans*” aumentou, ocasionando a redução dos teores de AGT na maioria dos alimentos processados no mundo, mas a necessidade de eliminá-los ainda persiste (WHO, 2021; DIAS et al., 2018).

#### 3.2.1 Tendências de mercado

Assim que a rotulagem nutricional foi instituída, esta se tornou um alicerce para instruir os consumidores e, desta forma, auxiliá-los a fazerem escolhas alimentares mais saudáveis (de JESUS, 2014).

Entretanto, práticas ruins já foram observadas. Uma pesquisa recentemente realizada no Brasil determinou que  $\frac{1}{5}$  dos alimentos vendidos em supermercados possuíam fontes de AGT na lista de ingredientes. Desses alimentos, a maior parte usava termos não específicos como “gordura vegetal” ao invés de termos específicos como “gordura hidrogenada”, dificultando a identificação do ingrediente pelos consumidores (RICARDO *et al.*, 2019).

Outro problema reside no fato de que alimentos que possuem OGPB têm valor de custo inferior quando comparados aos produtos similares sem este ingrediente. Isto é preocupante, pois coloca grupos populacionais vulneráveis em risco, já que eles não têm outra escolha senão consumir o produto mais acessível e, por isso, se expõem com grande frequência às gorduras *trans* (ANVISA, 2021).

Para proteger estes consumidores vulneráveis, os limites instituídos pela rotulagem nutricional possuem também a finalidade de pressionar a indústria de alimentos a diminuir a quantidade de gorduras *trans* em seus produtos (de JESUS, 2014).

Mas, mesmo assim, um estudo brasileiro apontou que o monitoramento desses produtos é necessário para analisar a adaptação da indústria à nova restrição de 2% imposta pela RDC nº 332/2019. Desta forma, de 2005 a 2018, cerca de 30% das 600 amostras de alimentos analisadas no Instituto Adolfo Lutz possuíam valores acima de 2g por 100g de gordura total. Uma importante constatação é que, dos produtos que apresentaram valor acima do limite, se destacaram os produtos de panificação, em especial biscoitos de mandioca (21%) e salgados (7,1%) (AUED-PIMENTEL; KUS-YAMASHITA, 2020).

Em uma conferência da AHA, Eckel *et al.* (2007) chegaram à conclusão de que a redução dos AGT deixou de ser um desafio técnico, para ser uma decisão de negócios. Desta forma, sobre suas considerações para a reformulação de alimentos, listaram fatores que devem ser ponderados para superar os obstáculos e enfim alcançar este objetivo.

Neste sentido, os fatores são: a pessoa que está no papel de liderança da equipe e os dirigentes corporativos que aprovam suas decisões; a colaboração dos fornecedores e o contínuo diálogo entre os segmentos; o fornecimento de ingredientes alternativos adequados para serem utilizados na reformulação de produtos; competidores que também se comprometeram com a saúde pública; a atenção positiva da mídia sobre o assunto e a demanda do consumidor por produtos mais saudáveis; e regulamentações que estimulem mudanças (ECKEL *et al.*, 2007).

Na mesma linha de raciocínio, a OPAS afirma que a efetividade dos esforços regulatórios está em corroborá-los com boas práticas de garantia da medida, de rotulagem, de avaliação do progresso e de compartilhamento de informação (OPAS, 2020).

Ainda, sobre a necessidade de se implementar uma diretriz para banir os OGPB, segundo a OPAS (2020, p. 5) “é uma medida política única, de baixo custo e relativamente simples com importantes benefícios a longo prazo para a saúde”.

A AHA também já se posicionou sobre o assunto de forma similar, mas acrescentou um ponto importante: para que as medidas regulatórias tenham eficácia, é imprescindível ter disponibilidade de alternativas saudáveis para a substituição dos OGPB (AHA, 2009).

Atualmente, a indústria de alimentos tem, em sua maioria, recorrido aos processos de fracionamento e interesterificação para reduzir o uso dos OGPB em formulações alimentares, conforme será abordado no tópico 3.2.2, mas o impacto causado na saúde por essas alternativas ainda precisa ser mensurado (DIAS *et al.*, 2018; RICARDO *et al.*, 2019; AUED-PIMENTEL; KUS-YAMASHITA, 2020).

#### 3.2.1.1 Medidas regulatórias e o consumidor

De fato, o rótulo do alimento é necessário para informar o consumidor e, assim, auxiliá-lo a fazer escolhas adequadas para suas necessidades. Desta forma, no rótulo, é obrigatório constar a lista de ingredientes, que indica a quantidade dos mesmos, apresentados em ordem decrescente de uso, e a rotulagem nutricional, que deve conter a declaração da quantidade de AGT em uma porção do alimento, bem como as alegações nutricionais cabíveis (ANVISA, 2019).

No entanto, Izar *et al.* (2021) afirmam que, apesar da obrigatoriedade, a obscuridade da lei dá margem para situações problemáticas. Uma delas é a possibilidade de declarar que um produto é isento de gorduras *trans*, desde que apresente quantidade menor ou igual a 0,2 g por porção, conforme RDC nº 360/2003 da ANVISA.

Esta tolerância leva o consumidor ao erro, isto porque há a possibilidade de ele consumir em excesso alimentos declarados como isentos quando, na verdade, não o são. Ainda, o fato de a quantidade de 0,2 g ser comparada por porção gera impasse, pois a porção é estabelecida em Regulamento Técnico específico e cada alimento tem a sua, que muitas vezes é muito inferior à quantidade consumida do produto (RICARDO *et al.*, 2019; ANVISA, 2019).

Outros contrapontos são apresentados pelo “Relatório de Análise de Impacto Regulatório sobre Ácidos Graxos *Trans* em Alimentos” da ANVISA (2019), no sentido de que somente alimentos embalados possuem lista de ingredientes, tabela e alegações nutricionais. Ou seja, alimentos consumidos em bares e restaurantes, por exemplo, não fornecem as devidas informações ao consumidor e podem possuir quantidades altas de AGT.

Ainda, a RDC 259/2002 estipula que, quando um alimento embalado possui ingredientes compostos, e estes representam menos do que 25% do alimento, não é necessário declarar os ingredientes que o compõem. Desta forma os OGPB podem ser ocultados da lista de ingredientes (ANVISA, 2019).

Além de serem ocultados, podem ainda estar listados com denominações genéricas que dificultam a sua identificação pelo consumidor, como já foi relatado no presente trabalho. Isto acontece por causa da falta de padronização da nomenclatura (SILVEIRA *et al.*, 2013; RICARDO *et al.*, 2019).

Outro fator que dificulta a identificação da presença de AGT pelos consumidores é que a lista de ingredientes pode estar desassociada da tabela nutricional, ou não estar visível e legível de forma adequada. Ademais, o próprio modelo de rotulagem nutricional é difícil de ser visualizado, lido e entendido pelos consumidores em geral (ANVISA, 2019).

Ante o exposto, é importante que o consumidor receba orientações para que saiba identificar a presença de AGT na lista de ingredientes, mas também que a legislação imponha diretrizes para que os rótulos alimentares sejam adequados para tanto. Logo, somente com o discernimento do consumidor, com medidas regulatórias eficientes e com as boas práticas da indústria alimentícia, veremos o risco de DCV vinculado ao consumo de AGT diminuir (IZAR *et al.*, 2021; BLOCK *et al.*, 2017).

### **3.2.2 Técnicas usualmente empregadas**

No início deste capítulo, a rotulagem nutricional como medida para reduzir o consumo de AGT foi revisada. Agora, posto a necessidade de se encontrar novas tecnologias para suprir as necessidades do mercado, as técnicas usualmente empregadas para se obter bases lipídicas estruturadas com a finalidade de substituir os OGPB serão abordadas.

De acordo com Akoh e Kim (2008), lipídios estruturados são, de uma forma geral, lipídios, como fosfolipídios, mono-, di-, e triacilgliceróis (MAG, DAG e TAG, respectivamente), que tiveram a sua conformação natural modificada por métodos químicos ou enzimáticos. De uma forma específica, os autores explicam que, muitas das vezes, os lipídios

estruturados podem ser definidos como TAG modificados por incorporação de novos ácidos graxos, ou como TAG reestruturados para alteração da posição ou do perfil dos ácidos graxos ou, ainda, como TAG sintetizado para produzir novos TAG. Assim, o uso destes lipídios em alimentos e medicamentos se justifica pelas características únicas que podem ser obtidas, como perfil de fusão e metabolismo da substância final (AKOH; KIM, 2008).

Neste sentido, *blending*, hidrogenação, fracionamento e interesterificação são as principais técnicas usadas para realizar a estruturação de lipídios com atributos desejados para aplicações específicas. Elas podem ser usadas separadamente, mas, como veremos no capítulo 3.2.3, é comum combiná-las para obter resultados superiores (SENANAYAKE; SHAHIDI, 2020).

#### 3.2.2.1 *Blending*

O termo *blending* refere-se à mistura de óleos e gorduras a fim de desenvolver novos produtos lipídicos com ácidos graxos, consistência e estabilidade específicas. É um processo físico geralmente usado para desenvolver margarinas, *shortenings* e óleos vegetais por ser econômico, de baixo investimento e não alterar as características químicas dos componentes originários das matrizes lipídicas, entretanto, nem sempre apresenta propriedades de cristalização ideais e não é capaz de gerar gorduras com alta qualidade nutricional como a técnica de interesterificação (BERRY *et al.*, 2019; SENANAYAKE; SHAHIDI, 2020).

#### 3.2.2.2 *Hidrogenação*

A hidrogenação de óleos é feita para que os mesmos apresentem textura semi-sólida em temperatura ambiente ou, até, tenham maior estabilidade oxidativa. Este processo químico remove as ligações duplas do ácido graxo pela adição de hidrogênio ao substrato, conforme os passos 1, 2 e 3 da reação exemplificada na Figura 5, tornando a molécula mais saturada e fazendo com que os triacilgliceróis se apresentem de forma homogênea, conseqüentemente alterando o comportamento de cristalização da molécula (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Nesta reação, diferentes fatores podem influenciar na velocidade e nos produtos finais obtidos, como, por exemplo, o tipo e a concentração usada de catalisador, a temperatura, a pressão e a intensidade da agitação às quais a reação foi submetida (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007; KODALI, 2014).

Assim, sob condições de baixa pressão de hidrogênio, pouca agitação, temperatura alta e concentração elevada do catalisador, ocorre maior formação dos isômeros geométricos e posicionais do AGI, conforme ilustrado no passo 4 da Figura 5, e esta formação se dá preferencialmente pelos ácidos graxos mais insaturados (DAMODARAN *et al.*, 2010).

A formação de isômeros ocorre, porque estes fatores impedem que a reação de hidrogenação total aconteça e, após a formação de um estado intermediário instável semi-hidrogenado, a reação inversa ocorre, e a ligação dupla se restabelece em posições ou configurações diferentes (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Nestas situações, temos o processo de hidrogenação parcial de óleos. Quando bases lipídicas com frações de ácido oleico (C18:1,  $\omega$ 9) são parcialmente hidrogenadas, forma-se seu isômero geométrico, o ácido elaídico (C18:1, 9-*trans*), já mencionado neste trabalho por suas atribuições negativas à saúde. Ambos estão ilustrados na Figura 6 (JORGE, 2009).

Ainda, vale lembrar que a hidrogenação preferencial de AGI é uma solução tecnológica muito utilizada pela indústria, pois aumenta a proporção de ácidos graxos com PF acima da temperatura ambiente e, portanto, aumenta a estabilidade oxidativa de óleos comerciais (JORGE, 2009; DAMODARAN *et al.*, 2010).

Esta prática, quando feita sob condições extremas, produz isômeros *trans*. Mas, como medida para reduzir os AGT nos óleos que foram hidrogenados, é possível modificar o processo para usar temperatura reduzida e pressão aumentada, bem como alterar a concentração e o tipo de catalisador usado na reação (FU *et al.*, 2010; PUPRASIT *et al.*, 2020; SINGH *et al.*, 2008).



### 3.2.2.3 *Fracionamento*

O fracionamento é uma técnica que promove a cristalização dos TAG pela alteração da temperatura, a fim de separar a fase sólida da líquida. Isto evita que ocorra a cristalização indesejada no produto final e, conseqüentemente, a turvação do meio, garantindo produtos refrigerados e emulsões de maior estabilidade (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Esta técnica é utilizada para alterar as propriedades físico-químicas dos lipídios, estruturando-os a fim de que apresentem características desejadas para determinadas aplicações. O princípio básico que ocorre na reação de fracionamento é a separação reversível de TAG com diferentes PF (TEMKOV; MURESAN, 2021).

Assim, para obter bases lipídicas estruturadas a partir desta técnica, como margarinas e *shortenings*, a indústria alimentícia geralmente usa as frações sólidas do óleo de palma. Isto garante versatilidade na produção, pois leva à obtenção de frações com PF e perfis de gordura sólida diferentes, mas, como contraponto, o produto final é geralmente rico em AGS, principalmente ácido palmítico (AHA, 2007).

Neste sentido, a fração sólida do óleo de palma é chamada de estearina, utilizada na produção de gorduras industriais para panificação, enquanto que a fração líquida é chamada de oleína, utilizada na produção de óleos para fritura. Ambas frações estão presentes em quantidades geralmente muito próximas, metade saturada, metade insaturada (JORGE, 2009).

De acordo com Tong *et al.* (2021), para se obter um óleo com a qualidade específica desejada, basta manipular a temperatura, o tempo de cristalização, a agitação e a taxa de resfriamento. O fracionamento é uma técnica considerada ecológica e sustentável para estruturar óleos, mas que usa principalmente o óleo de palma por suas propriedades semi sólidas.

### 3.2.2.4 *Interesterificação*

De acordo com uma pesquisa recente feita no Brasil (AUED-PIMENTEL; KUS-YAMASHITA, 2020), a interesterificação de óleos em gorduras foi capaz de substituir em

grande parte o uso dos OGP e, assim, minimizar os teores de AGT nos alimentos. Já, no Reino Unido, entre 2012 e 2014, as gorduras interesterificadas representavam 1% da energia diária consumida por todas as idades. Em sua maioria, ela é encontrada em 54% dos *spreads* e 22% dos produtos de panificação encontrados no mercado britânico, como biscoitos, alternativas para creme de leite e alimentos de confeitaria (BERRY *et al.*, 2019).

Durante a reação de interesterificação, a ligação éster entre os ácidos graxos e o glicerol é rompida, e esses ácidos graxos podem ser, então, reesterificados em posições novas. Este processo promove o rearranjo dos ácidos graxos e, com isso, altera o perfil de fusão dos lipídios e a estrutura de seus cristais, mas, ao mesmo tempo, mantém a composição dos ácidos graxos originais (DAMODARAN *et al.*, 2010; ROUSSEAU; MARANGONI, 2008).

O destaque da interesterificação é o fato de que a estrutura geométrica dos ácidos graxos não é modificada, logo, não há formação de isômeros *trans*. Ainda, quando este método é aplicado em um *blend* de diferentes óleos, uma ampla gama de aplicações pode ser alcançada, assim, torna-se possível reformular produtos visando substituir gorduras com alto teor de AGT mas, ainda assim, manter propriedades físicas desejáveis, garantindo a aceitabilidade do consumidor (BERRY *et al.*, 2019; JORGE, 2009).

Portanto, atualmente, a interesterificação é usada como a principal tecnologia para estruturar lipídios, pois, ao promover o rearranjo da posição de ácidos graxos na estrutura do glicerol, é possível confeccioná-los com as características nutricionais e físico-químicas desejadas (SIVAKANTHAN; MADHUMITHA, 2020; BERRY *et al.*, 2019).

A interesterificação, química ou enzimática, pode ser dividida em 4 tipos de reação: acidólise, reação entre um TAG e um ácido graxo; alcoólise, reação entre um TAG e um álcool; glicerólise, um tipo de alcoólise onde o glicerol é o álcool da reação; e transesterificação, que subdivide-se em intraesterificação e interesterificação, reações de redistribuição de ácidos graxos mesma molécula de glicerol ou em molécula diferente, respectivamente (DAMODARAN *et al.*, 2010; ROUSSEAU; MARANGONI, 2008).

A inter-transesterificação pode ocorrer de forma aleatória ou dirigida, dependendo da temperatura empregada. Assim, a aleatoriedade da reação se dá com temperaturas acima do maior PF entre os TAG e baixos teores de água, ácidos graxos livres e peróxidos, bem como é interrompida quando água é adicionada ao meio e inativa o catalisador ou quando o equilíbrio

é alcançado. Já a reação dirigida ocorre sob temperaturas abaixo do menor PF entre os TAG e produz uma mistura heterogênea, com fases líquida e sólida (DAMODARAN *et al.*, 2010; ROUSSEAU; MARANGONI, 2008).

Ainda, a reação de interesterificação pode ser produzida por catálise química ou enzimática. Em um estudo de comparação feito por Morselli Ribeiro *et al.* (2017), a catálise enzimática se mostrou com maior seletividade, menor migração de grupos acila na posição *sn*-2 de AGI e melhor valor nutricional quando comparada à catálise química. Os autores também ressaltaram a vasta aplicabilidade da catálise enzimática na produção de lipídios estruturados para uso especialmente em alimentos de panificação e confeitaria.

Zhang *et al.* (2021) realizaram uma comparação entre lipídios interesterificados por catálise química e enzimática. Concluíram que o método enzimático gerou menor teor de gordura sólida e taxa de cristalização mais rápida quando comparado com o método químico.

Dentre as formas de produção, Sivakanthan e Madhujith (2020) afirmam que a técnica enzimática fornece maiores vantagens sobre a química, como o uso de temperaturas brandas durante a reação, menor quantidade de subprodutos formados e maior facilidade de recuperar o produto final, apesar do alto custo de investimento.

Os ensinamentos de Rousseau e Marangoni (2008) são similares aos anteriores, mas salientam que a catálise química não consegue estruturar lipídios específicos da mesma forma que a catálise enzimática. Ou seja, a especificidade que a catálise enzimática fornece é exclusiva a ela, possibilitando-a de produzir lipídios nutricionalmente superiores.

Neste sentido, a catálise enzimática pode apresentar regioespecificidade por diferentes localizações estereoespecíficas do TAG, ou seletividade por diferentes ácidos graxos, produzindo mudanças no tipo de triacilglicerol ou na composição em ácidos graxos, respectivamente (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Com a interesterificação enzimática, produtos como margarinas e *shortenings* zero *trans*, substitutos da manteiga de cacau e da gordura do leite humano, lipídios estruturados de baixa caloria e películas e revestimentos comestíveis já foram desenvolvidos sem quaisquer diferenças sensoriais quando comparados aos produtos originais com OGPB (SIVAKANTHAN; MADHUJITH, 2020).

Segundo um apontamento feito por Berry *et al.* (2019), a interesterificação química é a técnica predominantemente usada no Reino Unido, enquanto que a enzimática é usada com maior frequência nos Estados Unidos e no Canadá.

Mesmo assim, de acordo com Sivakanthan e Madhujith (2020), a reação de interesterificação ainda tem muito para ser explorada. Esta tecnologia tem potencialidades para ser aplicada em fontes naturais pouco utilizadas, com diversos ácidos graxos essenciais e compostos bioativos que podem elaborar produtos multifacetados como nutracêuticos e alimentos funcionais.

Entretanto, duas questões devem ainda ser avaliadas: a estabilidade oxidativa de lipídios estruturados por interesterificação, muitas vezes, é menor do que a estabilidade dos produtos originalmente substituídos, e os efeitos do consumo a longo prazo desses lipídios na saúde humana ainda foram pouco estudados (SIVAKANTHAN; MADHUJITH, 2020).

Com relação à repercussão na saúde, estudos realizados para determinar o impacto de alimentos com gordura interesterificada no metabolismo de lipídios apresentaram efeito neutro no risco de DCV. O contraponto desses estudos é que eles não foram feitos com o próprio produto comercial interesterificado e avaliaram somente o efeito imediato da substância (BERRY *et al.*, 2019).

Sobre a estabilidade oxidativa, a comparação feita por Zhang *et al.* (2021) apontou que a redução no teor de tocoferol, causada pela destilação realizada após a interesterificação enzimática, afetou negativamente o lipídio obtido.

Ademais, os produtos obtidos por catálise enzimática e química resultaram em propriedades físico-químicas substancialmente diferentes por causa da migração acila, a qual foi afetada pela especificidade das lipases usadas. Portanto, mais pesquisas sobre as condições da reação enzimática precisam ser feitas para obter um processo mais controlado (ZHANG *et al.* 2021).

### 3.2.3 Desenvolvimento e aplicação de gorduras zero trans em produtos de panificação

Após abordar cada técnica de forma isolada, faz-se necessário observar o desenvolvimento de bases lipídicas zero *trans* obtidas a partir delas, principalmente pela interesterificação, que confere a possibilidade de estruturar os lipídios de forma específica (BERRY *et al.*, 2019).

Ainda, a aplicação destas bases lipídicas zero *trans* em produtos de panificação é relevante para a análise pretendida no presente trabalho. Isto porque os alimentos de panificação são aqueles que possuem as maiores quantidades de AGT e, por isso, seu consumo representa um fator de risco para a ocorrência de DCV. Logo, é necessário propor alternativas tecnológicas que não produzam gorduras com AGT e que possam ser utilizadas nestas aplicações (FDA, 2003; WHO, 2021; IZAR *et al.*, 2021).

É importante destacar que as gorduras usadas na panificação devem apresentar características específicas para o produto no qual serão aplicadas, em especial perfil de fusão, plasticidade e proporções de gordura sólida adequadas. Devem ter composição lipídica saudável para acompanhar as demandas nutricionais, como a redução de gorduras saturadas e *trans* (GUNSTONE, 2008).

Neste sentido, para avaliar a qualidade de um produto de panificação, existem diversos parâmetros. Para *cookies*, alguns deles são a proporção de *spread* (razão entre o valor médio do diâmetro e o valor médio da espessura dos biscoitos), cor e dureza, mas, para bolos, o importante é a aeração da massa e a textura. Sendo assim, as propriedades apropriadas para diferentes aplicações são obtidas com diferentes misturas de óleos (GUNSTONE, 2008; MUDGIL *et al.*, 2017).

Para exemplificar isto, a Tabela 1 apresenta uma revisão bibliográfica de artigos que tratam da interesterificação de bases lipídicas zero *trans* aplicadas em produtos de panificação. Ademais, o Quadro 1 resume as informações gerais sobre os artigos usados e indica letras (A, B, C, D, E e F) para cada autor, a fim de auxiliar o entendimento da Tabela 1.

Na pesquisa de Ozturk *et al.* (2009), analisou-se a produção de *cookies* zero *trans* com diferentes teores de fibra a partir de *shortening* obtido pela interesterificação química de óleo de palma, óleo de algodão e um *blend* destes dois para, então, serem comparados com *cookies*

produzidos com *shortening* não interesterificado dos mesmos óleos e com *shortening* hidrogenado com alto teor de AGT, todos com diferentes teores de fibra também.

Os *cookies* que continham gordura interesterificada apresentaram valores maiores de cor e proporções de *spread* do que aqueles com gordura não interesterificada, assim como também apresentaram valores próximos daqueles com gordura hidrogenada (OZTURK *et al.*, 2009).

Com relação aos valores sensoriais gerais, o cookie produzido com *shortening* interesterificado quimicamente a partir de *blend* 1:1 dos óleos de palma e algodão, com adição de 15% de fibra, recebeu maior aceitação que o *cookie* produzido com *shortening* hidrogenado. Desta forma, *cookies zero trans* com alto teor de fibra podem ser produzidos sem afetar negativamente suas propriedades sensoriais (OZTURK *et al.*, 2009).

O estudo de Ahmadi e Marangoni (2009) realizou a preparação de um *shortening zero trans* por interesterificação química a partir de um *blend* (70:17:13) dos óleos de girassol com alto teor de ácido oleico, canola hidrogenada e soja hidrogenada. Os *cookies* foram produzidos com 30% deste *blend* e comparados com *cookies* produzidos com *shortening* comercial.

**Quadro 1:** Informações gerais sobre dados dos artigos científicos sobre reações de interesterificação para a obtenção de bases lipídicas zero *trans* aplicadas em produtos de panificação, usados para confeccionar a Tabela 1.

Fonte dos lipídios (Proporção)	Método	Aplicação	Referência	
Algodão, palma e <i>blend</i> (1:1)	Químico	Cookies	OZTURK <i>et al.</i> , 2009	A
<i>Blend</i> canola, soja e girassol (17:13:70)	Químico	Cookies	AHMADI; MARANGONI, 2009	B
<i>Blend</i> soja e soja hidrogenada (40:60 / 70:30)	Químico	Biscoito	PENTEADO <i>et al.</i> , 2018	C
Óleo de girassol com behenato de etila	Enzimático	Biscoito/Bolo	KANJILAL <i>et al.</i> , 2016	D
<i>Blend</i> estearina de palma e canola (66,41:33,58)	Químico	Bolo	SAGHAFI <i>et al.</i> , 2018	E
<i>Blend</i> palma e algodão	Químico	Bolo	DOGAN <i>et al.</i> , 2007	F

Fonte: A autora (2022)

**Tabela 1:** Composição em ácidos graxos e características químicas e físicas de alguns óleos interesterificados para panificação.

(continua)

Composição	Formulações							
	A1	A2	A3	B	C1	C2	C3	C4
	Algodão	Palma	Blend Algodão e Palma 1:1	Blend Canola, Soja e Girassol 17:13:70	Blend 1 6% B1 + 34% B2 + 60% SO	Blend 2 13% B1 + 19% B2 + 68% SO	Blend 3 24% B1 + 9% B2 + 67% SO	Blend 4 0% B1 + 46% B2 + 54% SO
C12:0	0.1	0.2	0.2	-	0.03	0.03	0.04	0.03
C14:0	0.8	0.9	0.9	-	0.10	0.10	0.10	0.10
C16:0	23.6	42.2	32.6	6.8	10.87	10.85	10.88	10.88
C16:1	0.6	-	0.3	-	-	-	-	-
C16:1 <i>trans</i>	-	-	-	-	0.09	0.09	0.09	0.09
C17:0	-	-	-	-	0.10	0.10	0.11	0.10
C18:0	1.0	7.2	4.9	29.9	14.22	13.94	16.86	14.25
C18:1	-	-	-	-	-	-	-	-
C18:1 <i>trans</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido Graxo (%) C18:1, omega 9	17.2	43.0	29.7	51.5	24.61	25.06	24.13	24.34
C18:2, <i>trans</i>	-	-	-	-	0.29	0.29	0.27	0.28
C18:2, omega 6	56.7	6.5	31.4	8.0	43.11	42.97	41.21	43.33
C18:3, <i>trans</i>	-	-	-	-	0.82	0.85	0.80	0.79
C18:3, omega 3	-	-	-	0.2	4.47	4.43	4.25	4.51
C20:0	-	-	-	0.6	0.39	0.38	0.40	0.40
C20:1	-	-	-	-	0.06	0.04	0.04	0.07
C22:0	-	-	-	-	0.48	0.47	0.47	0.48
C24:0	-	-	-	-	0.19	0.19	0.19	0.19
AGS/AGI	0.35	0.99	0.64	1.6	2.78	2.83	2.44	2.78
AGS	51	50.5	38.6	37.3	26.38	26.07	29.04	26.43
AGMI	17.8	43.0	30	51.5	24.76	25.19	24.25	24.50
AGPI	56.7	6.5	31.4	8.2	48.68	48.55	46.54	48.90
Total <i>trans</i>	0.6	-	0.3	0.9	1.19	1.23	1.16	1.16
Ponto de Fusão (°C)	30	40	40	50	38.5	38.0	42.8	38.0

(conclusão)

Composição	Formulações						
	D	E	F1	F2	F3	F4	F5
	Girassol	Blend Estearina de Palma e Canola 66.41:33.58	Palma	Algodão	Blend 1 Palma e Algodão 75:25	Blend 2 Palma e Algodão 50:50	Blend 3 Palma e Algodão 25:75
C12:0	-	0.2	0.20	-	0.19	0.20	0.10
C14:0	-	0.8	1.20	0.70	1.15	1.23	0.87
C16:0	4.2	42.1	52.49	21.02	46.14	42.12	29.81
C16:1	-	-	-	0.52	0.35	0.30	0.40
C16:1 <i>trans</i>	-	-	-	-	-	-	-
C17:0	-	-	-	-	-	-	-
C18:0	2.4	3.9	5.3	2.37	4.55	3.51	3.18
C18:1	-	0.1	-	-	-	-	-
C18:1 <i>trans</i>	-	-	-	-	-	-	-
Ácido Graxo (%) C18:1, omega 9	25.8	37.6	32.7	18.89	30.30	25.87	22.85
C18:2, <i>trans</i>	-	0.1	-	-	-	-	-
C18:2, omega 6	37.8	11.2	7.44	56.35	16.65	26.76	42.55
C18:3, <i>trans</i>	-	-	-	-	-	-	-
C18:3, omega 3	-	2.7	-	-	-	-	-
C20:0	1.0	0.2	0.40	0.15	0.31	-	0.22
C20:1	-	0.2	-	-	-	-	-
C22:0	28.8	-	-	-	-	-	-
C24:0	-	-	-	-	-	-	-
AGS/AGI	1.75	1.10	1.47	0.32	1.11	0.89	0.52
AGS	36.4	47.2	59.59	24.76	52.34	47.06	34.18
AGMI	25.8	37.9	32.7	19.41	30.65	26.17	23.25
AGPI	37.8	14.1	7.44	56.35	16.65	26.76	42.55
Total <i>trans</i>	-	0.2	-	-	-	-	-
Ponto de Fusão (°C)	38-40	40.9	-	-	-	-	-

**Legenda:** Ozturk *et al.* (2009) é representado pela letra A, foram feitas 3 análises subdivididas em A1, A2, e A3; Ahmadi e Marangoni (2009) é representado pela letra B; Penteadó *et al.* (2018) é representado pela letra C, foram feitas 4 análises subdivididas em C1, C2, C3 e C4; Kanjilal *et al.* (2016) é representado pela letra D; Saghafi *et al.* (2018) é representado pela letra E; Dogan *et al.* (2007) é representado pela letra F, foram feitas 5 análises subdivididas em F1, F2, F3, F4 e F5. **Fonte:** A autora (2022).

Os cookies com o *shortening* interesterificado apresentaram plasticidade, teor de gordura sólida, PF e morfologia similares ao do *shortening* comercial. Ainda, o *shortening* interesterificado produziu *cookies* com a mesma dureza que o *shortening* comercial, mas com proporção de *spread* maior (AHMADI; MARANGONI, 2009).

Portanto, foi possível concluir que os *cookies* com *shortening* interesterificado apresentaram a mesma aceitabilidade que os com *shortening* comercial, porém possuem benefícios positivos à saúde, tendo em vista o alto teor de ácidos esteárico e oleico (AHMADI; MARANGONI, 2009).

No trabalho realizado por Penteado *et al.* (2018), biscoitos zero *trans* foram desenvolvidos com o auxílio da tecnologia de Rede Neural Artificial, que formulou 4 *blends* a partir de duas bases (B1 e B2) interesterificadas de óleo de soja comum e óleo de soja completamente hidrogenado (40:60 e 70:30), e as comparou com uma base interesterificada baixa em AGT e outra com gordura vegetal parcialmente hidrogenada.

A Rede Neural Artificial mostrou vantagens operacionais e econômicas, formulando *blends* com PF e teor de gordura sólida similares às gorduras hidrogenadas comerciais, enquanto o óleo de soja é uma matéria-prima com grande disponibilidade e baixo custo para a produção dos biscoitos (PENTEADO *et al.*, 2018).

Desta forma, 10 possibilidades de *blends* foram desenvolvidas pela tecnologia, mas 4 foram selecionadas de acordo com os critérios técnicos estabelecidos. Destes 4 *blends*, o 3º apresentou o maior PF e valor de AGS, isto porque ele tinha a maior porcentagem de ácido esteárico em sua composição, proveniente de uma das bases usadas em maior quantidade (PENTEADO *et al.*, 2018).

Não obstante, nenhum dos *blends* apresentou alterações significativas nas características dos biscoitos, mostrando-se formulações capazes de substituir as gorduras tradicionalmente usadas em produtos de panificação (PENTEADO *et al.*, 2018).

A pesquisa de Kanjilal *et al.* (2016) sintetizou um lipídio estruturado a partir da glicerólise enzimática de óleo de girassol e avaliou sua aplicação em biscoitos e bolos, comparando-o com *shortenings* comerciais.

O produto sintetizado se mostrou baixo em calorias e livre de gorduras *trans*, bem como apresentou atividade hipocolesterolêmica por conter ácido behênico, proveniente do behenato de etila que foi adicionado ao sistema (KANJILAL *et al.*, 2016).

O lipídio estruturado apresentou perfil de fusão similar aos *shortenings* comerciais e, quando aplicado em biscoitos, mostrou qualidade e características organolépticas comparáveis aos biscoitos tradicionais. Entretanto, quando aplicado em bolos, foi necessária a adição de emulsificantes na formulação para aumentar a incorporação de ar à massa; nestes termos, o produto estruturado ficou indistinguível quando comparado ao comercial (KANJILAL *et al.*, 2016).

No estudo feito por Saghafi *et al.* (2018), produziu-se um *blend* (66.41:33.58) de óleo de canola e estearina de palma quimicamente interesterificados para desenvolver um *shortening* zero *trans*. O produto foi utilizado em bolos, e estes foram comparados a outros 2 bolos que continham *shortenings* comerciais em suas formulações.

A formulação do *blend* foi feita a partir do *software* Design-Expert, que considerou as propriedades reológicas, textura, perfil de fusão e congelamento característicos de produtos comerciais hidrogenados. Assim, com relação à composição em ácidos graxos e às propriedades físico-químicas e de textura, o bolo zero *trans* se mostrou comparável a um dos bolos com *shortening* comercial e superior ao outro (SAGHAFI *et al.*, 2018).

Por fim, o trabalho de Dogan *et al.* (2007) realizou a interesterificação química de óleo de palma e óleo de algodão para desenvolver diversos *blends* (25:75, 50:50, 75:25) e avaliá-los em bolos. Também foram avaliados os óleos de palma e de algodão isolados, a versão não interesterificada de todos os óleos e *blends* do estudo e, ainda, um *shortening* hidrogenado.

Na comparação, diversas características foram levadas em consideração, como densidade, consistência, volume, propriedades da crosta e do miolo e atributos como umidade, sabor e sensação na boca. Desta forma, foi possível constatar que o aumento do óleo de algodão na formulação reduziu o teor de gordura sólida dos bolos interesterificados e não interesterificados, aumentando a densidade e a fluidez do produto final (DOGAN *et al.*, 2007).

Os melhores resultados foram obtidos com os *blends* de óleo de palma e algodão interesterificados nas proporções 75:25 e 50:50, respectivamente. Neles, quando comparados

ao bolo produzido com gordura hidrogenada, não houve qualquer alteração significativamente adversa das propriedades sensoriais desejadas (DOGAN *et al.*, 2007).

### 3.3 GLICERÓLISE

Uma tendência mundial crescente é a economia circular e a busca por tecnologias sustentáveis. Isto posto, um problema ambiental e econômico emergente é o aumento da produção de biodiesel, que gera grandes quantidades de glicerol como um subproduto (TEMKOV; MURESAN, 2021; MAMTANI *et al.*, 2021).

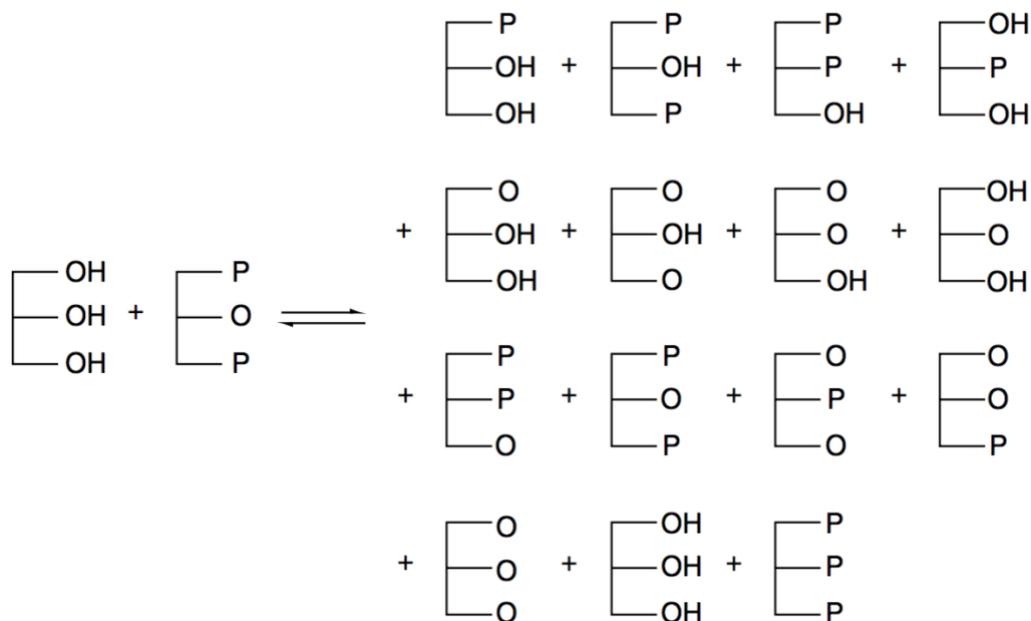
De acordo com Mamtani *et al.* (2021), este excedente tem utilidade para o pré-tratamento de matéria-prima de baixa qualidade, como os rejeitos de refino de óleo vegetal bruto e óleo de cozinha usado, tornando o processo de produção do biodiesel mais sustentável e rentável. Já Phuah *et al.* (2015) ressalta que, por causa da grande quantidade de glicerol disponível no mercado, o seu preço diminuiu drasticamente. Consequentemente, a reação de glicerólise enzimática se torna viável já que o baixo custo da matéria-prima principal faz com que o processo esteja mais barato do que em outrora. Cabe mencionar, no entanto, que o glicerol derivado da produção de biodiesel deve ser adequadamente tratado para posterior uso como substrato visando a formulação de alimentos destinados ao consumo humano.

#### 3.3.1 Mecanismo de reação, características, aplicações e desafios da glicerólise

De acordo com os ensinamentos de Willis e Marangoni (2008), o mecanismo da reação de glicerólise envolve a troca de grupos acila entre um TAG e um glicerol, produzindo mono-di- e triacilgliceróis sem mudar a composição em ácidos graxos, conforme Figura 7.

Os TAG e o glicerol também podem reagir com ácidos graxos livres, a fim de esterificá-los em acilgliceróis. Consequentemente, a reação reduz os teores de ácidos graxos livres e produz água como um subproduto (TEMKOV; MURESAN, 2021; MAMTANI *et al.*, 2021).

**Figura 7** - Produtos de uma reação de glicerólise catalisada por lipase não específica entre glicerol e 1,3-dipalmitoil-2-oleoilglicerol.



Fonte: Willis e Marangoni (2008)

A reação de glicerólise pode ser feita por via química ou enzimática. Na via química, os catalisadores são metais alcalinos de baixo custo, a temperatura aplicada é geralmente alta (entre 150-200 °C) e o tempo de reação é curto. Ademais, a reação produz subprodutos indesejados e compostos tóxicos que deixam o produto final com coloração escura e, por isso, processos de branqueamento, desodorização e purificação são necessários após a catálise química (JADHAV; ANNAPURE, 2021).

Não obstante, na via enzimática, a reação é catalisada por lipases geralmente de alto custo, a temperatura é moderada (em torno de 50 °C, dependendo da enzima aplicada) e o tempo de reação é longo. No entanto, não há formação de subprodutos, reduzindo o custo para o tratamento de resíduos, e as enzimas podem ser controladas para obtenção de produtos específicos que não são possíveis de serem obtidos pela catálise química (JADHAV; ANNAPURE, 2021).

O custo, muitas vezes alto, da utilização de lipases está atrelado à fatores como a sua fonte de obtenção. No entanto, o uso destas enzimas se justifica pelo desenvolvimento de

lipídios estruturados de alta qualidade nutricional, posto que o produto final tem alto valor agregado e compensa o valor lipase empregada (WEETE; LAI; AKOH, 2008).

Um ponto relevante é que o glicerol é insolúvel em óleo e, para que a reação enzimática ocorra sem o uso de solventes orgânicos e em tempo viável, é necessário homogeneizar o sistema da reação por meio de uma emulsão. Mesmo assim, o uso de solventes orgânicos resulta em uma cinética de reação mais eficiente (SOLAESA *et al.*, 2017).

Damstrup *et al.* (2006) se mostraram favoráveis ao uso de solventes orgânicos, apesar dos desafios apresentados pela toxicidade de muitos deles. Isto porque o benefício de reações mais rápidas apresenta uma maior vantagem para a indústria alimentícia.

Diversos estudos da literatura relatam a aplicação de diferentes substratos, condições reacionais e lipases aplicadas em reações de glicerólise enzimática. É preponderante conhecer o que já existe sobre este tema na literatura, para conhecer as características desta reação, explorar as oportunidades para sua aplicação e identificar os desafios da mesma (FELTES *et al.*, 2013).

Neste sentido, o trabalho feito por Damstrup *et al.* (2006) produziram 47-56% de MAG, em óleo de girassol usando uma mistura de *tert*-butanol e *tert*-pentanol e a lipase de *Candida antarctica* B imobilizada por adsorção física em uma matriz macroporosa, por 20 minutos de reação. Já Valério *et al.* (2009) produziram ~70% de MAG, em óleo de oliva com solvente *n*-butano pressurizado e a lipase de *Candida antarctica* imobilizada, por 2 horas de reação.

Contudo, em sistemas livres de solvente, o tempo de reação é mais longo e os teores de MAG e DAG produzidos são inferiores quando comparados aos que utilizam solventes orgânicos. Assim, Feltes *et al.* (2012) relatam que, no óleo de peixe em um sistema sem solvente e com a lipase de *Candida antarctica* B imobilizada, foi possível sintetizar, respectivamente, 25% e 41% de MAG e DAG, por 24 h de reação.

O trabalho de Zamorano *et al.* (2020), entretanto, relatou que, na oleína de cacau em sistema sem solvente, com pressão reduzida de 2-3 mbar e com a lipase livre de *Candida antarctica* B, foi possível aumentar a síntese de MAG e DAG e reduzir o tempo de reação, pois todo o subproduto de água foi evaporado pelo vácuo. Assim, em 6-8 h de reação, foi possível produzir 33,4% de MAG e 44,2% de DAG.

Willis e Marangoni (2008) afirmam que sistemas isentos de solventes devem ser explorados pela indústria alimentícia, posto que a separação e a recuperação do solvente representam obstáculos nas operações unitárias das reações, bem como alguns são potencialmente tóxicos quando consumidos e promovem a poluição do meio ambiente ao serem descartados.

Ademais, o uso de surfactantes para aumentar a eficiência de reações sem solvente é uma opção promissora. Eles promovem um aumento da área interfacial entre as moléculas do sistema e, assim, diminuem a tensão superficial existente, facilitando o contato entre a enzima e o substrato (FELTES *et al.*, 2013).

Tendo isto em vista, é interessante o uso de lipases imobilizadas para aumentar a estabilidade das enzimas em sistemas sem solvente. Isto porque, quando imobilizadas, elas apresentam maior atividade, estabilidade térmica e facilidade de serem recuperadas e reutilizadas quando comparadas às lipases não imobilizadas, reduzindo o custo do processo (FELTES *et al.*, 2013; SINGH; MUKHOPADHYAY, 2016).

Na Figura 7, a reação ocorreu por meio de uma lipase não específica, gerando uma grande variação de produtos. No entanto, quando lipases específicas são usadas, a reação pode ser direcionada para formar os produtos desejados (MOREIRA *et al.*, 2017).

As lipases possuem diversas limitações quanto à temperatura, ao pH e ao tempo de reação, que devem ser levadas em consideração. Ainda, podem apresentar especificidade quanto à posição *sn*- do TAG (ou seja, podem ser regioespecíficas), quanto à característica estereoquímica da molécula (estereoespecíficas) e específicas quanto ao ácido graxo, independentemente de sua posição na molécula modificada (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Neste sentido, em vegetais, os AGS e de cadeia longa se distribuem preferencialmente nas posições *sn*-1 e *sn*-3, enquanto que os AGI encontram-se na posição *sn*-2. Já, em animais, os AGS são encontrados na posição *sn*-2 (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007; DAMODARAN *et al.*, 2010).

Esta informação tem relevância, pois a localização estereoespecífica dos ácidos graxos na molécula do glicerol proporciona impactos nutricionais distintos. Isto acontece porque os TAG ingeridos na dieta são hidrolisados pela lipase pancreática nas posições *sn*-1 e *sn*-3

primeiro e, dessa forma, os AGL produzidos formam sais insolúveis de cálcio (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Assim, os ácidos graxos esterificados nas posições *sn*-1 e *sn*-3 apresentam menor biodisponibilidade do que os presentes na posição *sn*-2 e, portanto, são absorvidos com pouca eficiência e fornecem menos calorias ao organismo (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Também é possível controlar os produtos da reação de glicerólise alterando determinados parâmetros, como a temperatura. No estudo feito por Feltes *et al.* (2012) com lipase de *Candida antarctica* B imobilizada, o aumento da temperatura de 55 °C para 70 °C influenciou positivamente na produção de MAG e DAG, que foram aumentados de 14,9% para 25,9% e de 24% para 38,2%, respectivamente.

Em outra pesquisa, o aumento da temperatura de 40 °C para 90 °C resultou em maior velocidade de reação. Este aumento de temperatura não inviabilizou a atividade da lipase de *Candida antarctica* B e acabou gerando uma maior adsorção dos produtos de oxidação no suporte da lipase, uma resina acrílica hidrofóbica macroporosa, resultando em valores de oxidação mais baixos (SOLAESA *et al.*, 2017).

Na pesquisa realizada por Nicholson e Marangoni (2022), foi constatado que diferentes matérias-primas resultam em diferentes teores de gorduras sólidas nos sistemas estruturados por glicerólise enzimática. Neste sentido, óleos ricos em ácido oleico que contêm teor de gordura saturada acima de 10% apresentaram os maiores aumentos de teor de gordura sólida.

### **3.3.2 Produção de bases lipídicas por glicerólise enzimática**

Vimos, no capítulo 3.2.3, o uso da interesterificação no desenvolvimento de gorduras zero *trans* aplicadas na formulação de produtos de panificação, mas, de acordo com Sivakanthan e Madhujith (2020), o potencial de lipídios modificados na indústria de alimentos é muito maior, principalmente por catálise enzimática, e devemos explorar mais vertentes desta técnica e novas matérias-primas.

Assim, a Tabela 2 compila as informações de dois trabalhos recentes de Nicholson e Marangoni (2020; 2021) sobre a reação de glicerólise enzimática para a produção de lipídios estruturados sob diversas circunstâncias e utilizando diferentes matrizes lipídicas.

Na obra de Nicholson e Marangoni (2020), avaliou-se a utilização dos óleos de algodão e amendoim para estruturar gorduras por meio da glicerólise enzimática. Como resultado, os óleos tiveram aumento de seus teores de gordura sólida e de suas capacidades de *oil-binding*, de forma que foi possível o desenvolvimento de margarina e manteiga de amendoim similares a produtos comerciais, a partir das matrizes utilizadas.

Para que isto fosse concretizado da melhor forma, inicialmente foram feitas pesquisas com diferentes proporções molares de glicerol e óleo de algodão durante 24 h de reação. Assim, a proporção mais adequada foi 2:1, pois resultou nos maiores valores de teor de gordura sólida e, desta forma, a pesquisa foi estendida por 72 h nestes termos, tanto para o óleo de algodão quanto para o de amendoim (NICHOLSON; MARANGONI, 2020).

**Tabela 2** - Composição em ácidos graxos e características químicas e físicas de alguns óleos após a glicerólise enzimática.

Referência	T (°C)	Tempo (h)	Proporção*	Matéria-prima	Ácido Graxo										MAG (%)	DAG (%)	TAG (%)	SFC inicial	SFC final (5 °C)	SFC final (20 °C)				
					14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	21:0	22:0							22:1	24:0		
2020	65	24	1:1	Algodão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.71	6.75	-	8.2	15.8	5.2		
					0.5:1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.7	46.1	-	21.9	12.6		
					2:1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27.5	45.3	-	22.6	17.7		
					4:1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24.17	44.71	-	22.4	11.1		
					4:1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.7	42.3	-	20.6	9.6		
		48	2:1	Algodão	0.88	23.59	0.56	2.75	18.22	53.44	0.30	-	-	0.15	-	0.11	31.3	49.1	17.1	8.2	26.2	14.27		
					Amendoim	-	9.40	-	2.87	58.35	21.38	-	1.44	1.47	3.38	-	1.69	-	-	-	9	30	10	
						Noz-Tigre	-	13.47	-	6.60	68.14	10.30	0.78	0.13	0.17	0.14	-	0.27	31.2	42.3	26,5	7.7	34.3	7.9
						Amendoim	-	9.40	-	2.87	58.35	21.38	-	1.44	1.47	3.38	-	1.69	31.6	46.8	21.6	8.9	30.4	9.9
						Algodão	0.88	23.59	0.56	2.75	18.22	53.44	0.30	-	-	0.15	-	0.11	-	-	-	8.2	29.1	21.7
2021	65	48	1:1	Farelo de Arroz	0.32	18.76	0.22	2.09	41.61	33.95	0.90	0.76	0.56	0.31	-	0.50	31.4	47.8	20.8	0.3	26.7	-		
				Oliva	-	11.49	0.83	2.65	75.07	8.99	0.97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24.1	8.2	
				Canola	-	3.86	-	1.75	72.54	16.58	3.70	-	1.26	-	0.31	-	-	-	-	-	-	-	18.7	2.4
				Soja	-	10.61	-	4.67	21.63	54.40	8.12	0.22	0.35	-	-	-	-	33.2	44.8	22.0	-	16.3	12.7	
				Gergelim	-	10.00	-	5.94	39.72	43.69	0.66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.7	3.6
				Canola	-	4.14	-	1.82	63.13	20.00	9.74	-	1.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.3	1.8
				Algas	0.41	1.64	-	0.71	92.01	4.28	0.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Legenda:** \*Ambos trabalhos foram feitos por Nicholson e Marangoni (2020; 2021) e usaram a lipase B de *C. antarctica* não-regioespecífica imobilizada em Immobead 150. **Fonte:** A autora (2022).

Nestas 72 h de reação com a proporção 2:1, os teores de MAG e DAG do óleo de algodão subiram rapidamente em 48 h, mas, no restante do tempo, não houve grandes alterações, por isto os valores apresentados em 72 h de reação não foram incluídos na Tabela 2. Quando usadas as proporções de 1:1 e 0,5:1 foram encontrados os valores mais altos para MAG e DAG, respectivamente (NICHOLSON; MARANGONI, 2020).

Com relação ao teor de gordura sólida do óleo de algodão, foi possível confirmar que tanto o tempo de reação quanto a quantidade e glicerol afetaram este parâmetro. Na proporção de 2:1, após 48 h foi alcançado o melhor potencial de teor sólido. Isto porque após 72 pouco aumento ocorreu em comparação. Já as proporções de 0,1 e 0,5 foram gradualmente aumentando o teor de sólidos até alcançar o pico em 1:1 (NICHOLSON; MARANGONI, 2020).

Os autores também analisaram o efeito das enzimas *C. antarctica* lipase B não específica e *Rhizomucor miehei* 1,3-lipase específica. Enquanto a *C. antarctica* sintetizou 13% de teor de gordura sólida após 48 h de reação na proporção molar de 2:1 de glicerol, a *R. miehei* sintetizou 8%, logo, a mais indicada para o experimento foi a lipase de *C. antarctica* (NICHOLSON; MARANGONI, 2020).

Também foi possível confirmar a relação entre as alterações de teor de gordura sólida com a cristalização e o perfil de fusão dos óleos, os quais foram todos aumentados após a glicerólise. Não só isso, o pico de cristalização atingido em 18 °C foi em decorrência dos MAG presentes, pois eles apresentam temperatura de cristalização superior aos DAG e TAG do sistema (NICHOLSON; MARANGONI, 2020).

No segundo trabalho de Nicholson e Marangoni (2021), foi feita uma ampliação da pesquisa realizada anteriormente (NICHOLSON; MARANGONI, 2020). Desta forma, os óleos de noz-tigre, amendoim, algodão, farelo de arroz, oliva, canola com alto teor de ácido oleico, soja, gergelim, canola e algas com alto teor de ácido oleico foram transformados em gorduras estruturadas a partir do processo de glicerólise enzimática.

Os autores constataram que, após a glicerólise, todos os óleos analisados obtiveram aumento de 20 °C na temperatura de início de cristalização. Portanto, provou-se que a

glicerólise enzimática consegue, de fato, aumentar o conteúdo de gordura sólida e o perfil de fusão de óleos vegetais (NICHOLSON; MARANGONI, 2021).

Além disso, em óleos com 14% a 25% de AGS e com alto teor de ácido oleico, pôde-se perceber os maiores aumentos do teor de gordura sólida. Assim, a efetividade do processo está vinculada à composição em ácidos graxos da matriz usada (NICHOLSON; MARANGONI, 2021).

Entre as matérias-primas avaliadas, o óleo de noz-tigre obteve os melhores resultados e, por isso, a gordura sólida obtida a partir dele foi usada para produzir margarina. Após o desenvolvimento do produto, a avaliação de sua característica de plasticidade mostrou grandes similaridades com a margarina convencional e a manteiga, logo, a glicerólise enzimática provou-se uma técnica apta a converter óleos em gorduras estruturadas para utilização em formulações alimentares (NICHOLSON; MARANGONI, 2021).

Uma informação adicional que precisa ser mencionada é o fato de que, quando a glicerólise é realizada sob condições padronizadas, mesmo que em matrizes diferentes, quantidades similares de MAG, DAG e TAG serão produzidas. É por este motivo que somente foram quantificados os acilgliceróis dos óleos de noz-tigre, amendoim, farelo de arroz e soja. Entretanto, o perfil de cristalização apresentou-se singular para cada óleo (NICHOLSON; MARANGONI, 2021).

Apesar de sabermos que as reações de glicerólise enzimática não levam à produção de ácidos graxos *trans*, este aspecto não foi abordado nos estudos citados anteriormente. Sabe-se, entretanto, que este é um ponto relevante a ser considerado na escolha da tecnologia a ser aplicada para a obtenção de bases lipídicas isentas destes isômeros geométricos (PATEL *et al.*, 2020; WILLIS; MARANGONI, 2008).

### 3.4 OBTENÇÃO DE BASES LIPÍDICAS

Muito já foi mencionado ao longo deste trabalho sobre a necessidade de se reduzir o teor de AGS e AGT em produtos de panificação, por suas implicações nocivas ao organismo humano. Entretanto, há formulações em que não é possível substituir as gorduras pelos óleos,

isto porque elas fornecem características específicas necessárias para determinadas aplicações industriais (TEMKOV; MURESAN, 2021; CO; MARANGONI, 2012).

Neste sentido, uma alternativa de lipídio de fonte vegetal muito usada por conferir estrutura e funcionalidade necessária, sem comprometer a aceitabilidade dos produtos, é o óleo de palma. Ele serve como uma solução barata e efetiva para produtos zero *trans* por ter alto teor de AGS em sua composição e por ter alto rendimento e volume de produção (KODALI, 2014; PATEL *et al.*, 2020).

Entretanto, as suas extensas aplicações impulsionaram a produção excessiva de sua matéria-prima, a palmeira *Elaeis guineensis*, fato que gerou desmatamento em diversas florestas tropicais e fez com que a sua utilização deixasse de ser sustentável (TEMKOV; MURESAN, 2021; PATEL *et al.*, 2020; NICHOLSON; MARANGONI, 2020).

É nítida a necessidade de se encontrar alternativas tecnológicas viáveis que modifiquem bases lipídicas não tradicionais, a fim de substituir as gorduras saturadas destes produtos alimentícios sem produzir AGT (TEMKOV; MURESAN, 2021; PATEL *et al.*, 2020; NICHOLSON; MARANGONI, 2020).

### **3.4.1 A glicerólise enzimática como alternativa tecnológica para a produção de lipídios estruturados**

O uso das técnicas convencionais, como a hidrogenação parcial, já é bem difundido na indústria alimentícia, mas, conforme já mencionado, os produtos gerados podem ocasionar efeitos negativos na saúde, como é o caso da gordura *trans* presente em margarinas, *shortenings* e cremes (TEMKOV; MURESAN, 2021; SIVAKANTHAN; MADHUJITH, 2020; ANVISA, 2021). De acordo com Rousseau e Marangoni (2008), o uso da hidrogenação parcial como estratégia para modificar lipídios está progressivamente cedendo espaço para a interesterificação química e enzimática.

A glicerólise, quando realizada por catálise química, também é uma forma de interesterificação convencional usada na estruturação de lipídios comestíveis. Mas, quando realizada por biocatálise, se torna uma técnica não convencional e inovadora para esta aplicação (TEMKOV; MURESAN, 2021).

Assim, o uso das técnicas não convencionais, como glicerólise enzimática, oleogéis e substitutos não lipídicos, é uma estratégia para produzir alimentos mais saudáveis e que tenham características organolépticas similares às das gorduras saturadas. Porém, garantir a aceitabilidade do consumidor e a viabilidade em um processo de larga escala são obstáculos ainda a serem enfrentados (TEMKOV; MURESAN, 2021).

Neste sentido, é importante ressaltar que a interesterificação enzimática possui custos elevados de produção e isto faz com que alimentos de baixo custo, como margarinas e *shortenings*, continuem sendo produzidos por catálise química (WILLIS; MARANGONI, 2008).

No entanto, na catálise enzimática, é possível usar lipases específicas para desenvolver bases lipídicas únicas, como as usadas em produtos com calorias reduzidas, lipídios enriquecidos e lipídios estruturados. Portanto, são necessários estudos ampliados que simulem processos industriais para viabilizar esta técnica inovadora (WILLIS; MARANGONI, 2008).

Temkov e Muresan (2021) afirmam que, na catálise enzimática, ainda há limitações quanto à estabilidade da enzima, o custo do processo e a falta de conhecimento sobre o efeito da modificação estrutural dos TAG na digestibilidade e no metabolismo lipídico. O entendimento de Phuah *et al.* (2015) sobre a estabilidade da enzima e o custo do processo são similares, mas ressaltam que a técnica enzimática vem propondo estratégias promissoras.

Apesar dos contrapontos, Nicholson e Marangoni (2022) relatam que a glicerólise enzimática já se provou uma técnica apta a estruturar uma ampla variedade de óleos para a obtenção de gorduras sólidas. Ademais, alterar as condições da reação implica em mudanças nas propriedades de cristalização e no PF do produto final, resultando em diversas possibilidades de confeccionar substitutos lipídicos únicos.

O uso da glicerólise enzimática também se justifica, pois este processo pode agregar valor econômico ao excedente de glicerol formado como subproduto da produção de biodiesel, bem como modifica bases lipídicas não tradicionais e promove a valorização de subprodutos lipídicos pouco utilizados provenientes da produção de sabão, tornando-se uma solução rentável e sustentável (PHUAH *et al.*, 2015; MAMTANI *et al.*, 2021; TEMKOV; MURESAN, 2021; ZAMORANO *et al.*, 2020).

A estruturação de lipídios por glicerólise enzimática é uma solução saudável para a substituição de óleos ricos em teor de gordura sólida no processo de *blending*, a fim de melhorar a funcionalidade de um óleo vegetal. Desta forma, é possível reduzir a demanda insustentável de óleo de palma (NICHOLSON; MARANGONI, 2021).

Outra vantagem é o baixo valor comercial do glicerol, que viabiliza a utilização da glicerólise enzimática, pois, conseqüentemente, reduz o custo do processo e o torna financeiramente mais atrativo para a indústria (PHUAH *et al.*, 2015).

Zamorano *et al.* (2020) afirmam que a combinação de reações mais rápidas e enzimas mais baratas abriria espaço para a utilização da glicerólise enzimática em processos de maior escala realizados pela indústria. Logo, diversas pesquisas já foram feitas para avaliar a aplicação desta técnica em termos práticos.

Nicholson e Marangoni (2021) afirmam que a glicerólise enzimática é uma técnica capaz de substituir o óleo de palma e as gorduras hidrogenadas em aplicações alimentícias, isto porque ela aumenta o teor de gordura sólida em óleos vegetais, principalmente aqueles com quantidades altas de ácido oleico e entre 14-25% de teor de gordura sólida, estruturando a matriz vegetal em uma gordura. sem alterar o perfil de ácidos graxos.

Derawi *et al.*, (2017) realizaram com sucesso a glicerólise enzimática de em óleo de coco virgem a fim de converter TAG em DAG e MAG para aumentar a atividade antibacteriana do óleo no metabolismo humano.

Valério *et al.* (2010) aplicaram com sucesso a glicerólise enzimática em óleo de oliva para aumentar os teores de MAG e DAG do lipídio. O uso de solventes orgânicos não foi necessário, visto que os surfactantes Tween 65 e Triton X-100 foram usados.

O trabalho de Monte Blanco *et al.* (2015) também usou o surfactante Tween 65 nesta técnica, mas com a finalidade de produzir DAG em óleo de peixe rico em EPA e DHA. Concluíram que o surfactante aumentou a miscibilidade do substrato e se mostrou uma alternativa viável para o uso de solventes orgânicos tóxicos e caros.

Outra opção para o uso de solventes é a emulsificação do sistema por meio da técnica de ultrassom. Remonato *et al.* (2015) colocaram em prática esta estratégia e concluíram que,

desta forma, foi possível produzir óleos de soja e canola ricos em DAG e MAG por glicerólise enzimática sem o uso de solventes.

Eom *et al.* (2010) produziram DAG a partir de óleo de peixe por glicerólise enzimática e investigaram o efeito do produto em ratos. Foi possível concluir que o grupo que ingeriu o DAG sintetizado diminuiu efetivamente o ganho de peso corporal e os níveis plasmáticos de colesterol total, triacilgliceróis e glicose em comparação com o grupo que ingeriu TAG.

Ainda, em estudos feitos por Pawongrat *et al.* (2007), Palacios *et al.* (2022) e Feltes *et al.* (2012), a glicerólise enzimática se mostrou uma técnica capaz de produzir bases lipídicas estruturadas com MAG e DAG ricos em AGPI, especialmente EPA e DHA. Apesar da flexibilidade deste processo, que pode ser ajustado conforme a matriz e os produtos de interesse, nenhuma das pesquisas abordou a produção de gorduras zero *trans* para produtos de panificação.

## 4 CONCLUSÃO

Neste estudo, a revisão bibliográfica realizada permitiu buscar informações sobre aspectos nutricionais, tecnológicos e regulatórios relacionados à presença de ácidos graxos *trans* em alimentos, produzidos a partir de diferentes processamentos. As alternativas tecnológicas existentes para a obtenção de lipídios estruturados zero *trans* também foram abordadas, tendo em vista a necessidade de adaptação das bases lipídicas aos requisitos definidos na nova legislação publicada no Brasil pela ANVISA, RDC N° 332 de 2019, e que entrará em vigor no país a partir de 1° de janeiro de 2023.

Neste sentido, a estruturação de lipídios é uma das melhores opções da indústria alimentícia para reduzir os teores de AGS e AGT em formulações de panificação, substituindo as fontes tradicionais de óleos e gorduras, bem como os OGPB.

Ante o exposto, a glicerólise enzimática se mostrou uma estratégia adequada para esta finalidade, pois consegue converter diversos óleos em gorduras estruturadas sem alterar o perfil de ácidos graxos da matriz usada, mas, ainda assim, pode conferir características similares às dos produtos convencionais.

Assim, como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se avaliar com mais detalhes a presente técnica para que ela se mostre uma solução factível em grandes escalas e, por tanto, vantajosa para a indústria. As informações aqui apresentadas podem ser relevantes para auxiliar a comunidade científica, bem como a indústria de alimentos, especialmente da área de óleos e gorduras, a conhecer as oportunidades, as potencialidades e os desafios para o desenvolvimento de novas bases lipídicas por meio da glicerólise enzimática.

## REFERÊNCIAS

AHA (American Heart Association). **Policy Position Statement on Regulatory and Legislative Efforts to Improve Cardiovascular Health by Decreasing Consumption of Industrially Produced Trans Fats**. Washington. 2009. Disponível em: [https://www.heart.org/idc/groups/heart-public/@wcm/@adv/documents/downloadable/ucm\\_301697.pdf](https://www.heart.org/idc/groups/heart-public/@wcm/@adv/documents/downloadable/ucm_301697.pdf). Acesso em: 19 jan. 2022.

AHA (American Heart Association). Understanding the Complexity of Trans Fatty Acid Reduction in the American Diet. *In: American Heart Association Trans Fat Conference 2006: Report of the Trans Fat Conference Planning Group*, 2007. v. 115, n. 16, p. 2231-2246. Disponível em: <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.181947>. Acesso em: 15 nov. 2021.

AHMADI, L.; MARANGONI, A. G. Functionality and physical properties of interesterified high oleic shortening structured with stearic acid. **Food chemistry**, 117, n. 4, p. 668-673, 2009. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.072>. Acesso em: 19 jan. 2022.

AKOH, C. C.; KIM, B. H. Structured Lipids. Termo in: AKOH, C. C.; MIN, D. B. **Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology**. 3 ed. Florida: CRC Press, 2008. p 841-872.

ALDAI, N.; DE RENOBABLES, M.; BARRON, L. J. R.; KRAMER, J. K. G. What are the trans fatty acids issues in foods after discontinuation of industrially produced trans fats? Ruminant products, vegetable oils, and synthetic supplements. **European journal of lipid science and technology**, 115, n. 12, p. 1378-1401, 2013. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1002/ejlt.201300072>. Acesso em: 19 jan. 2022.

AMRUTHA KALA, A. L. cis-, trans- and Saturated Fatty Acids in Selected Hydrogenated and Refined Vegetable Oils in the Indian Market. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 89, n. 10, p. 1813-1821, 2012. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1007/s11746-012-2086-y>. Acesso em: 19 jan. 2022.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). **Perguntas & Respostas: Requisitos para uso de gorduras trans industriais em alimentos**. 3.ed. Brasília: Gerência-Geral de Alimentos, 2021, 33 p. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/alimentos/perguntas-e-respostas/gorduras-trans-industriais.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). **Relatório de Análise de Impacto Regulatório sobre Ácidos Graxos Trans em Alimentos**. Brasília, 2019. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/4379119/Analise+de+Impacto+Regulatorio+-+Gorduras+Trans.pdf/8d3320eb-16d7-41a9-b04b-6c49b284be78>. Acesso em: 20 jan. 2022.

AUED-PIMENTEL, S.; KUS-YAMASHITA, M. M. M. Analysis of the fat profile of industrialized food in Brazil with emphasis on trans-fatty acids. **Journal of food composition and analysis**, 97, p. 103799, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103799>. Acesso em: 19 jan. 2022.

BERRY, S. E.; BRUCE, J. H.; STEENSON, S.; STANNER, S. *et al.* Interesterified fats: What are they and why are they used? A briefing report from the Roundtable on Interesterified Fats

in Foods. **Nutrition bulletin**, 44, n. 4, p. 363-380, 2019. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1111/nbu.12397>. Acesso em: 19 jan. 2022.

BHARDWAJ, S.; PASSI, S. J.; MISRA, A. Overview of trans fatty acids: Biochemistry and health effects. **Diabetes & metabolic syndrome clinical research & reviews**, 5, n. 3, p. 161-164, 2012. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.dsx.2012.03.002>. Acesso em: 19 jan. 2022.

BLOCK, J. M.; ARISSETO-BRAGOTTO, A. P.; FELTES, M. M. C. Current policies in Brazil for ensuring nutritional quality. **Food Quality and Safety**, v. 1, n. 4, p 275–288, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx026>. Acesso em: 15 nov. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprovar o Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 dez. 2003. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-360-de-23-de-dezembro-de-2003.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 332, de 23 de dezembro de 2019. Define os requisitos para uso de gorduras trans industriais em alimentos. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 dez. 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-332-de-23-de-dezembro-de-2019-235332281>. Acesso em: 12 nov. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instrução Normativa - IN nº 75, de 8 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 out. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-75-de-8-de-outubro-de-2020-282071143>. Acesso em: 12 nov. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 429, de 08 de outubro de 2020. Dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 out. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-de-diretoria-colegiada-rdc-n-429-de-8-de-outubro-de-2020-282070599>. Acesso em: 12 nov. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 514, de 28 de maio de 2021. Altera a Resolução de Diretoria Colegiada - RDC no 332, de 23 de dezembro de 2019, que define os requisitos para uso de gorduras trans industriais em alimentos. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 jun. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-514-de-28-de-maio-de-2021-324764739>. Acesso em: 12 nov. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Guia alimentar para a população brasileira**: promovendo a alimentação saudável. 1.ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2008. 210 p. Disponível em: [https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/guia\\_alimentar\\_populacao\\_brasileira\\_2008.pdf](https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2008.pdf). Acesso em: 15 nov. 2021.

BROUWER, I. A. Effect of trans-fatty acid intake on blood lipids and lipoproteins: a systematic review and meta-regression analysis. Geneva: **World Health Organization**; 2016. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/246109/9789241510608-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 3 jan. 2022.

COMBE, N.; CLOUET, P.; CHARDIGNY, J.-M.; LAGARDE, M. *et al.* Trans fatty acids, conjugated linoleic acids, and cardiovascular diseases: Trans fatty acids. **European journal of lipid science and technology**, 109, n. 9, p. 945-953, 2007. Disponível em: <https://doi.org.ez46.periodicos.capes.gov.br/10.1002/ejlt.200600288>. Acesso em: 19 jan. 2022.

DACHEV, M.; BRYNDOVÁ, J.; JAKUBEK, M.; MOUČKA, Z. *et al.* The Effects of Conjugated Linoleic Acids on Cancer. **Processes**, 9, n. 3, p. 454, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.3390/pr9030454>. Acesso em: 19 jan. 2022.

DAMODARAN, S. *et al.* **Química de alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010, 890 p.

DAMSTRUP, M. L.; ABILDSKOV, J.; KIIL, S.; JENSEN, A. D. *et al.* Evaluation of Binary Solvent Mixtures for Efficient Monoacylglycerol Production by Continuous Enzymatic Glycerolysis. **Journal of agricultural and food chemistry**, 54, n. 19, p. 7113-7119, 2006. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1021/jf061365r>. Acesso em: 19 jan. 2022.

De JESUS, V. FDA Food Labeling Regulations for Trans Fat. Termo in: KODALI, D. R. **Trans Fats: Replacement Solutions**. Illinois: AOCS Press, 2014, p 61-69.

DEN HARTIGH, L. J. Conjugated Linoleic Acid Effects on Cancer, Obesity, and Atherosclerosis: A Review of Pre-Clinical and Human Trials with Current Perspectives. **Nutrients**, 11, n. 2, p. 370, 2019. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.3390/nu11020370>. Acesso em: 19 jan. 2022.

DERAWI, D. *et al.* Preliminary Study on Production of Monoacylglycerol and Diacylglycerol of Virgin Coconut Oil via Enzymatic Glycerolysis Using Lipase *Candida antarctica* (Novozyme 435). **Malaysian Journal of Analytical Sciences**, v. 21, n. 1, p. 37 - 45, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17576/mjas-2017-2101-05>. Acesso em: 19 jan. 2022.

DESTAILLATS, F. *et al.* Natural versus Industrial Trans Fatty Acids. Termo in: KODALI, D. R. **Trans Fats: Replacement Solutions**. Illinois: AOCS Press, 2014, p 41-59.

DIAS, F. D. S. L.; LIMA, M. F.; VELASCO, P. C. D.; SALLES-COSTA, R. *et al.* Were policies in Brazil effective to reducing trans fat from industrial origin in foods? **Revista de saúde pública**, 52, p. 34-34, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.11606/S1518-8787.2018052000292>. Acesso em: 19 jan. 2022.

DOGAN, I. S.; JAVIDIPOUR, I.; AKAN, T. Effects of interesterified palm and cottonseed oil blends on cake quality. **International journal of food science & technology**, 42, n. 2, p. 157-164, 2007. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01178.x>. Acesso em: 19 jan. 2022.

ECKEL, R. H.; BORRA, S.; LICHTENSTEIN, A. H.; YIN-PIAZZA, S. Y. Understanding the complexity of trans fatty acid reduction in the American diet: American Heart Association Trans Fat Conference 2006: report of the Trans Fat Conference Planning Group. **Circulation**

(New York, N.Y.), 115, n. 16, p. 2231-2246, 2007. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.181947>. Acesso em: 19 jan. 2022.

EOM, T.-K.; KONG, C.-S.; BYUN, H.-G.; JUNG, W.-K. *et al.* Lipase catalytic synthesis of diacylglycerol from tuna oil and its anti-obesity effect in C57BL/6J mice. **Process biochemistry** (1991), 45, n. 5, p. 738-743, 2010. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2010.01.012>. Acesso em: 19 jan. 2022.

FDA (Food and Drug Administration). **Final Determination Regarding Partially Hydrogenated Oils**. Federal Register, v. 83, n. 98, p. 23358-23359. 2018. Disponível em: <https://www.federalregister.gov/d/2018-10714>. Acesso em: 19 jan. 2022.

FDA (Food and Drug Administration). **Food Additives Permitted in Feed and Drinking Water of Animals; Methyl Esters of Conjugated Linoleic Acid (Cis-9, Trans-11 and Trans-10, Cis-12-Octadecadienoic Acids)**. Federal Register, v. 73, n. 210, p. 64197-64199. 2009. Disponível em: <https://www.federalregister.gov/d/E8-25719>. Acesso em: 19 jan. 2022.

FDA (Food and Drug Administration). **Food Labeling; Reference Daily Intakes and Daily Reference Values**. Federal Register, v. 58, n. 3, p. 2206-2228. 1993. Disponível em: <https://www.foodrisk.org/resources/sendFile/89>. Acesso em: 19 jan. 2022.

FDA (Food and Drug Administration). **Food Labeling; Trans Fatty Acids in Nutrition Labeling; Consumer Research to Consider Nutrient Content and Health Claims and Possible Footnote or Disclosure Statements; Final Rule and Proposed Rule**. Federal Register, v. 68, n. 133, p. 41434-41506. 2003. Disponível em: <https://www.federalregister.gov/d/03-17525>. Acesso em: 19 jan. 2022.

FELTES, M. M. C. *et al.* The Production, Benefits, and Applications of Monoacylglycerols and Diacylglycerols of Nutritional Interest. **Food and Bioprocess Technology**, 6, p. 17–35, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0836-3>. Acesso em: 19 jan. 2022.

FELTES, M. M. C.; VILLENEUVE, P.; BARÉA, B.; BAROUH, N. *et al.* Enzymatic Production of Monoacylglycerols (MAG) and Diacylglycerols (DAG) from Fish Oil in a Solvent-Free System. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 89, n. 6, p. 1057-1065, 2012. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1007/s11746-011-1998-2>. Acesso em: 19 jan. 2022.

FU, H.; XIAO, F.; WANG, S.; YANG, L. *et al.* Production of Low-trans Fatty Acids Edible Oil by Electrochemical Hydrogenation in a Diaphragm Reactor Under Controlled Conditions. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 88, n. 1, p. 133-141, 2010. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1007/s11746-010-1649-z>. Acesso em: 19 jan. 2022.

GANGULY, R.; PIERCE, G. N. The toxicity of dietary trans fats. **Food and chemical toxicology**, 78, p. 170-176, 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2015.02.004>. Acesso em: 19 jan. 2022.

GUNSTONE, F. D. Food Applications of Lipids. Termo in: AKOH, C. C.; MIN, D. B. **Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology**. 3 ed. Florida: CRC Press, 2008., p 683-703.

GUO, Y.; CAI, Z.; XIE, Y.; MA, A. *et al.* Synthesis, physicochemical properties, and health aspects of structured lipids: A review. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, 19, n. 2, p. 759-800, 2020. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12537>. Acesso em: 19 jan. 2022.

HANDA, C.; GOOMER, S.; SIDDHU, A. Performance and fatty acid profiling of interesterified trans free bakery shortening in short dough biscuits. **International journal of food science & technology**, 45, n. 5, p. 1002-1008, 2010. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02222.x>. Acesso em: 19 jan. 2022.

HEALTH CANADA. **Notice of Modification - Prohibiting the Use of Partially Hydrogenated Oils (PHOs) in Foods. Bureau of Nutritional Sciences, Food Directorate Health Products and Food Branch.** Ottawa. 2017. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/food-nutrition/public-involvement-partnerships/modification-prohibiting-use-partially-hydrogenated-oils-in-foods/information-document.html>. Acesso em: 19 jan. 2022.

HEGAZY, M.; ELSAYED, N. M.; ALI, H. M.; HASSAN, H. G. *et al.* Diabetes Mellitus, Nonalcoholic Fatty Liver Disease, and Conjugated Linoleic Acid (Omega 6): What Is the Link? **Journal of diabetes research**, 2019, p. 5267025-5267027, 2019. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1155/2019/5267025>. Acesso em: 19 jan. 2022.

IZAR, M. C. O.; LOTTENBERG, A. M.; GIRALDEZ, V. Z. R.; SANTOS FILHO, R. D. S.; MACHADO, R. M.; BERTOLAMI, A.; *et al.* Posicionamento sobre o Consumo de Gorduras e Saúde Cardiovascular – 2021. **Arq Bras Cardiol.** 2021; 116(1):160-212. Disponível em: <https://doi.org/10.36660/abc.20201340>. Acesso em: 12 nov. 2021.

JADHAV, H. B.; ANNAPURE, U. Designer lipids -synthesis and application – A review. **Trends in food science & technology**, 116, p. 884-902, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.020>. Acesso em: 19 jan. 2022.

KANJILAL, S. *et al.* Application of low calorie hypocholesterolemic structured lipid as potential bakery fat. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 2, p. 854-859, 2016. Disponível em: [http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20\(02\)%202016/\(55\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20(02)%202016/(55).pdf). Acesso em: 19 jan. 2022.

KEMÉNY, Z.; RECSEG, K.; HÉNON, G.; KŐVÁRI, K.; ZWOBADA, F. Deodorization of vegetable oils: Prediction of trans polyunsaturated fatty acid content. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 78, n. 9, p. 973-979, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11746-001-0374-0>. Acesso em: 3 jan. 2022.

KHATOON, S.; REDDY, S. R. Y. Plastic fats with zero trans fatty acids by interesterification of mango, mahua and palm oils. **European Journal of Lipid Science and Technology**, 107, n. 11, p. 786-791, 2005. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1002/ejlt.200501210>. Acesso em: 19 jan. 2022.

KIM, B. H.; AKOH, C. C. Recent Research Trends on the Enzymatic Synthesis of Structured Lipids. **Journal of food science**, 80, n. 8, p. C1713-C1724, 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.12953>. Acesso em: 19 jan. 2022.

KODALI, D. R. Trans Fats: Health, Chemistry, Functionality, and Potential Replacement Solutions. Termo in: KODALI, D. R. **Trans Fats: Replacement Solutions.** Illinois: AOCS Press, 2014, p 1-39.

KROGAGER, T. P.; NIELSEN, L. V.; KAHVECI, D.; DYRLUND, T. F. *et al.* Hepatocytes respond differently to major dietary trans fatty acid isomers, elaidic acid and trans-vaccenic

acid. **Proteome science**, 13, n. 1, p. 31-31, 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1186/s12953-015-0084-3>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MAIA, M. R. G. *et al.* Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. **Antonie van Leeuwenhoek**, 91, p. 303–314, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10482-006-9118-2>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MAMTANI, K.; SHAHBAZ, K.; FARID, M. M. Glycerolysis of free fatty acids: A review. **Renewable & sustainable energy reviews**, 137, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2020.110501>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MARANGONI, A. G. Organogels: An Alternative Edible Oil-Structuring Method. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 89, n. 5, p. 749-780, 2012. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1007/s11746-012-2049-3>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MARTIN, C. A.; MILINSK, M. C.; VISENTAINER, J. V.; MATSUSHITA, M. *et al.* Trans fatty acid-forming processes in foods: a review. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 79, n. 2, p. 343-350, 2007. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652007000200015>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MONTE BLANCO, S. F. M.; SANTOS, J. S.; FELTES, M. M. C.; DORS, G. *et al.* Optimization of diacylglycerol production by glycerolysis of fish oil catalyzed by Lipozyme TL IM with Tween 65. **Bioprocess and biosystems engineering**, 38, n. 12, p. 2379-2388, 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1007/s00449-015-1473-9>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MOREIRA, D. K. T.; RACT, J. N. R.; RIBEIRO, A. P. B.; MACEDO, G. A. Production and characterization of structured lipids with antiobesity potential and as a source of essential fatty acids. **Food research international**, 99, n. Pt 1, p. 713-719, 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.034>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MORSELLI RIBEIRO, M. D. M.; MING, C. C.; SILVESTRE, I. M.; GRIMALDI, R. *et al.* Comparison between enzymatic and chemical interesterification of high oleic sunflower oil and fully hydrogenated soybean oil. **European journal of lipid science and technology**, 119, n. 2, p. 1500473-n/a, 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1002/ejlt.201500473>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MOZAFFARIAN, D.; CLARKE, R. Quantitative effects on cardiovascular risk factors and coronary heart disease risk of replacing partially hydrogenated vegetable oils with other fats and oils. **European journal of clinical nutrition**, 63, n. S2, p. S22-S33, 2009. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602976>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MUDGIL, D.; BARAK, S.; KHATKAR, B. S. Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels. **Food science & technology**, 80, p. 537-542, 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.009>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MULVIHILL, B. Ruminant meat as a source of conjugated linoleic acid (CLA). **Nutrition Bulletin**, v. 26, p. 295-299, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1467-3010.2001.00179.x>. Acesso em: 19 jan. 2022.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014, 1250 p.

NICHOLSON, R. A.; MARANGONI, A. G. Enzymatic glycerolysis converts vegetable oils into structural fats with the potential to replace palm oil in food products. **Nature Food**, 1, p. 684–692, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00160-1>. Acesso em: 19 jan. 2022.

NICHOLSON, R. A.; MARANGONI, A. G. Glycerolysis structured oils as natural fat replacements. **Current Opinion in Food Science**, v. 43, p. 1-6, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.09.002>. Acesso em: 19 jan. 2022.

NICHOLSON, R. A.; MARANGONI, A. G. Lipase-catalyzed glycerolysis extended to the conversion of a variety of edible oils into structural fats. **Current Research in Food Science**, 4, p. 163-174, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.005>. Acesso em: 19 jan. 2022.

O'KEEFE, S. F. Nomenclature and Classification of Lipids. Termo in: AKOH, C. C.; MIN, D. B. **Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology**. 3 ed. Florida: CRC Press, 2008. p 3-37.

O'REILLY, M. E.; LENIGHAN, Y. M.; DILLON, E.; KAJANI, S. *et al.* Conjugated Linoleic Acid and Alpha Linolenic Acid Improve Cholesterol Homeostasis in Obesity by Modulating Distinct Hepatic Protein Pathways. **Molecular nutrition & food research**, 64, n. 7, p. e1900599-n/a, 2020. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1002/mnfr.201900599>. Acesso em: 19 jan. 2022.

OPAS (Organização Pan-Americana da Saúde). **As Américas Livres de Gorduras Trans: Declaração do Rio de Janeiro**. 2008. Disponível em: <https://www1.paho.org/Portuguese/AD/DPC/NC/transfat-declaracao-rio.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

OZTURK, S.; OZBAS, O. O.; JAVIDIPOUR, I.; KOKSEL, H. EFFECTS OF ZERO-TRANS INTERESTERIFIED AND NON-INTERESTERIFIED SHORTENINGS AND BREWER'S SPENT GRAIN ON COOKIE QUALITY. **Journal of food lipids**, 16, n. 3, p. 297-313, 2009. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4522.2009.01148.x>. Acesso em: 19 jan. 2022.

PAHO (Pan American Health Organization). **Plano de ação para eliminar os ácidos graxos trans de produção industrial 2020-2025**. Washington, D. C.: Pan American Health Organization, 2020. Disponível em: [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52293/OPASNMHRF200006\\_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52293/OPASNMHRF200006_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 20 jan. 2022.

PALACIOS, D.; BUSTO, M. D.; ALBILLOS, S. M.; ORTEGA, N. Synthesis and oxidative stability of monoacylglycerols containing polyunsaturated fatty acids by enzymatic glycerolysis in a solvent-free system. **Food science & technology**, 154, p. 112600, 2022. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112600>. Acesso em: 19 jan. 2022.

PATEL, A. R. *et al.* Applications of fat mimetics for the replacement of saturated and hydrogenated fat in food products. **Current Opinion in Food Science**, v. 33, p. 61-68, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.008>. Acesso em: 19 jan. 2022.

PAWONGRAT, R.; XU, X.; H-KITTIKUN, A. Synthesis of monoacylglycerol rich in polyunsaturated fatty acids from tuna oil with immobilized lipase AK. **Food chemistry**, 104,

n. 1, p. 251-258, 2007. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.036>. Acesso em: 19 jan. 2022.

PENTEADO, A. A. T.; NOGUEIRA, A. C.; GANDRA, K. M. B.; BARRERA-ARELLANO, D. *et al.* Zero trans biscuits with soybean-based fats formulated using an artificial neural network. **Grasas y aceites (Sevilla)**, 69, n. 2, p. 251-e251, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.3989/gya.1216172>. Acesso em: 19 jan. 2022.

PHUAH, E. T. *et al.* Review on the Current State of Diacylglycerol Production Using Enzymatic Approach. **Food and Bioprocess Technology**, 8, p. 1169–1186, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1505-0>. Acesso em: 19 jan. 2022.

PUPRASIT, K.; WONGSAWAENG, D.; NGAOSUWAN, K.; KIATKITTIPONG, W. *et al.* Non-thermal dielectric barrier discharge plasma hydrogenation for production of margarine with low trans-fatty acid formation. **Innovative food science & emerging technologies**, 66, 2020. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102511>. Acesso em: 19 jan. 2022.

REMONATTO, D.; SANTIN, C. M. T.; VALÉRIO, A.; LERIN, L. *et al.* Lipase-Catalyzed Glycerolysis of Soybean and Canola Oils in a Free Organic Solvent System Assisted by Ultrasound. **Applied biochemistry and biotechnology**, 176, n. 3, p. 850-862, 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1007/s12010-015-1615-1>. Acesso em: 19 jan. 2022.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Blucher, 2007.

RICARDO, C. Z.; PEROSINI, I. M.; MAIS, L. A.; MARTINS, A. P. B. *et al.* Trans Fat Labeling Information on Brazilian Packaged Foods. **Nutrients**, 11, n. 9, p. 2130, 2019. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.3390/nu11092130>. Acesso em: 19 jan. 2022.

ROUSSEAU, D.; MARANGONI, A. G. Chemical Interesterification of Food Lipids: Theory and Practice. Termo in: AKOH, C. C.; MIN, D. B. **Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology**. 3 ed. Florida: CRC Press, 2008, p 267-295.

RUAN, X.; ZHU, X.-M.; XIONG, H.; WANG, S.-Q. *et al.* Characterisation of zero-trans margarine fats produced from camellia seed oil, palm stearin and coconut oil using enzymatic interesterification strategy. **International journal of food science & technology**, 49, n. 1, p. 91-97, 2014. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1111/ijfs.12279>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SABARENSE, C. M.; MANCINI FILHO, J. Efeito da gordura vegetal parcialmente hidrogenada sobre a incorporação de ácidos graxos trans em tecidos de ratos. **Revista de nutrição**, 16, n. 4, p. 399-407, 2003. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-52732003000400003>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SAGAN, C. **Cosmos**. Random House; 1 ed., 1980, 365 p.

SAGHAFI, Z.; NAELI, M. H.; TABIBIAZAR, M.; ZARGARAAN, A. Zero-Trans Cake Shortening: Formulation and Characterization of Physicochemical, Rheological, and Textural Properties. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 95, n. 2, p. 171-183, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1002/aocs.12033>. Acesso em: 19 jan. 2022.

ŞAHIN-YEŞİLÇUBUK, N.; AKOH, C. C. Biotechnological and Novel Approaches for Designing Structured Lipids Intended for Infant Nutrition. **Journal of the American Oil**

**Chemists' Society**, 94, n. 8, p. 1005-1034, 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1007/s11746-017-3013-z>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SENANAYAKE, S. N., SHAHIDI, F. Modification of Fats and Oils via Chemical and Enzymatic Methods. Termo in: SHAHIDI, F. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. 7 ed. 2020. p. 1-29. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/047167849X.bio062.pub2>. Acesso em: 19 jan. 2022

SILVEIRA, B. M. *et al.* Reporting of trans-fat on labels of Brazilian food products. **Public Health Nutrition**, v. 16, n. 12, p. 2146–2153, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1368980013000050>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SINGH, A. K.; MUKHOPADHYAY, M. Enzymatic Synthesis of Mono- and Diglyceride Using Lipase From *Candida rugosa* Immobilized Onto Cellulose Acetate-Coated Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles. **Arabian Journal for Science and Engineering**, 41, p. 2553–2561, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13369-016-2036-3>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SINGH, D.; REZAC, M. E.; PFROMM, P. H. Partial Hydrogenation of Soybean Oil with Minimal Trans Fat Production Using a Pt-Decorated Polymeric Membrane Reactor. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 86, n. 1, p. 93-101, 2008. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1007/s11746-008-1321-z>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SIVAKANTHAN, S.; MADHUIJITH, T. Current trends in applications of enzymatic interesterification of fats and oils: A review. **Food science & technology**, 132, p. 109880, 2020. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109880>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SOLAESA, Á. G.; SANZ, M. T.; MELGOSA, R.; BELTRÁN, S. Substrates emulsification process to improve lipase-catalyzed sardine oil glycerolysis in different systems. Evaluation of lipid oxidation of the reaction products. **Food research international**, 100, n. Pt 1, p. 572-578, 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.048>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SZABO, Z.; MAROSVÖLGYI, T.; SZABO, E.; KOCZKA, V.; VERZAR, Z.; FIGLER, M.; DECSI, T. Effects of Repeated Heating on Fatty Acid Composition of Plant-Based Cooking Oils. **Foods**, 11, n. 192, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11020192>. Acesso em: 07 fev. 2022.

TEMKOV, M.; MUREŞAN, V. Tailoring the Structure of Lipids, Oleogels and Fat Replacers by Different Approaches for Solving the Trans-Fat Issue—A Review. **Foods**, 10, n. 6, p. 1376, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.3390/foods10061376>. Acesso em: 19 jan. 2022.

TONG, S. C.; TANG, T. K.; LEE, Y. Y. A Review on the Fundamentals of Palm Oil Fractionation: Processing Conditions and Seeding Agents. **European journal of lipid science and technology**, 123, n. 12, p. 2100132-n/a, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1002/ejlt.202100132>. Acesso em: 19 jan. 2022.

USDA (United States Department of Agriculture). **Nutrition and Your Health: Dietary Guidelines for Americans**. Home and Garden Bulletin. n. 232. 1980. Disponível em: <https://www.dietaryguidelines.gov/sites/default/files/2019-05/1980%20DGA.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2022

VALENZUELA, C. A.; BAKER, E. J.; DE SOUZA, C. O.; MILES, E. A. *et al.* Differential Effects of Ruminant and Industrial 18-Carbon trans-Monounsaturated Fatty Acids (trans Vaccenic and Elaidic) on the Inflammatory Responses of an Endothelial Cell Line. **Molecules (Basel, Switzerland)**, 26, n. 19, p. 5834, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.3390/molecules26195834>. Acesso em: 19 jan. 2022.

VALÉRIO, A. *et al.* Optimization of mono and diacylglycerols production from enzymatic glycerolysis in solvent-free systems. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, 33, p. 805–812, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00449-009-0402-1>. Acesso em: 19 jan. 2022.

VALÉRIO, A.; FIAMETTI, K. G.; ROVANI, S.; FRANCESCHI, E. *et al.* Enzymatic production of mono- and diglycerides in compressed n-butane and AOT surfactant. **The Journal of supercritical fluids**, 49, n. 2, p. 216-220, 2009. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2009.02.001>. Acesso em: 19 jan. 2022.

VARGAS-BELLO-PÉREZ, E.; FEHRMANN-CARTES, K.; ÍÑIGUEZ-GONZÁLEZ, G.; TORO-MUJICA, P. *et al.* Short communication: Chemical composition, fatty acid composition, and sensory characteristics of Chanco cheese from dairy cows supplemented with soybean and hydrogenated vegetable oils. **Journal of dairy science**, 98, n. 1, p. 111-117, 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8831>. Acesso em: 19 jan. 2022.

VARGAS-BELLO-PÉREZ, E.; GELDSETZER-MENDOZA, C.; MORALES, M. S.; TORO-MUJICA, P. *et al.* Effect of olive oil in dairy cow diets on the fatty acid profile and sensory characteristics of cheese. **International dairy journal**, 85, p. 8-15, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.04.006>. Acesso em: 19 jan. 2022.

WANG, Q. *et al.* Impact of Nonoptimal Intakes of Saturated, Polyunsaturated, and Trans Fat on Global Burdens of Coronary Heart Disease. **Journal of the American Heart Association**, v. 5, n. 1, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1161/JAHA.115.002891>. Acesso em: 19 jan. 2022.

WEETE, J. D.; LAI, O. M.; AKOH, C. C. Microbial Lipases. Termo in: AKOH, C. C.; MIN, D. B. **Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology**. 3 ed. Florida: CRC Press, 2008. p 767-806.

WHO (World Health Organization). **Countdown to 2023: WHO report on global trans fat elimination 2021**. Geneva: World Health Organization, 2021.

WHO (World Health Organization). **Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health**. France: World Health Organization. 2004. Disponível em: [https://www.who.int/dietphysicalactivity/strategy/eb11344/strategy\\_english\\_web.pdf](https://www.who.int/dietphysicalactivity/strategy/eb11344/strategy_english_web.pdf). Acesso em: 20 jan. 2022.

WHO (World Health Organization). **Plan of action for the elimination of industrially produced trans-fatty acids 2020-2025**. In: 57th DIRECTING COUNCIL 71st SESSION OF THE REGIONAL COMMITTEE OF WHO FOR THE AMERICAS, USA, 2019. Disponível em: [https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=49612-cd57-8-e-poa-trans-fatty&category\\_slug=cd57-en&Itemid=270&lang=en](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&view=download&alias=49612-cd57-8-e-poa-trans-fatty&category_slug=cd57-en&Itemid=270&lang=en). Acesso em: 15 nov. 2021.

WHO (World Health Organization). WHO and FAO Joint Consultation: fats and oils in human nutrition. **Nutrition Reviews**, v. 53, n. 7, p 202 - 205, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1995.tb01552.x>. Acesso em: 20 jan. 2022.

WILLETT, S. A.; AKOH, C. C. Physicochemical Characterization of Yellow Cake Prepared with Structured Lipid Oleogels. **Journal of food science**, 84, n. 6, p. 1390-1399, 2019. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.14624>. Acesso em: 19 jan. 2022.

WILLIS, W. M.; MARANGONI, A. G. Enzymatic Interesterification. Termo in: AKOH, C. C.; MIN, D. B. **Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology**. 3 ed. Florida: CRC Press, 2008, p 807-839.

ZAMORANO, L. S.; CALERO MAGAÑA, P.; GARCÍA CISNEROS, E.; MARTÍNEZ, A. V. *et al.* Cocoa olein glycerolysis with lipase *Candida antarctica* in a solvent free system. **Grasas y aceites (Sevilla)**, 71, n. 4, p. 383-e383, 2020. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.3989/gya.0794191>. Acesso em: 19 jan. 2022.

ZHANG, Z.; YE, J.; LEE, W. J.; AKOH, C. C. *et al.* Modification of palm-based oil blend via interesterification: Physicochemical properties, crystallization behaviors and oxidative stabilities. **Food chemistry**, 347, p. 129070-129070, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129070>. Acesso em: 19 jan. 2022.

ZONGO, K.; KRISHNAMOORTHY, S.; MOSES, J. A.; YAZICI, F. *et al.* Total conjugated linoleic acid content of ruminant milk: The world status insights. **Food chemistry**, 334, p. 127555-127555, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127555>. Acesso em: 19 jan. 2022.