

Identificação de alquilgliceróis, vitamina K2 e triptofano em óleo de avestruz por cromatografia gasosa

Identification of alkylglycerols, vitamin K2, and tryptophan in ostrich oil by gas chromatography

Identificación de alquilgliceroles, vitamina K2 y triptófano en aceite de avestruz mediante cromatografía de gases

DOI: 10.54901/educa.v9-630

Luana Nascimento Cardozo¹
Debora Coutinho²
Ivonilce Venturi³
Fernando Henrique de Souza⁴
Alexsara Cardoso Coelho Prado⁵

RESUMO: O óleo de avestruz é um produto de origem animal utilizado como suplemento alimentar e caracterizado principalmente por sua composição lipídica, entretanto, ainda são limitadas as informações acerca da presença de outros compostos de interesse nutricional em sua composição. O presente estudo teve como objetivo identificar e quantificar alquilgliceróis, vitamina K2 e triptofano em óleo de avestruz. A amostra, proveniente de uma indústria fabricante de suplemento alimentar localizada em Mirante da Serra, Rondônia, Brasil, foi encaminhada para análises laboratoriais no Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná e no CEIMIC Life Sciences Testing Group, em Pedreira, São Paulo. As análises foram realizadas por técnicas cromatográficas, com utilização de espectrometria de massas em modo SIM (*Selected Ion Monitoring*). Foram identificados 56,35 mg/100 mL de alquilgliceróis, 1.399,88 µg/100mL de vitamina K2 e 230µg/00 mL de triptofano. Os resultados demonstraram a presença dos três compostos investigados no óleo analisado, contribuindo para ampliar o conhecimento acerca de sua composição. Conclui-se que o óleo de avestruz analisado contém alquilgliceróis, vitamina K2 e triptofano, sendo necessários estudos adicionais para investigar sua relevância nutricional e fisiológica.

Palavras-chave: óleo de avestruz; alquilgliceróis; vitamina K2; triptofano.

¹ Doutoranda em Ciências Biomédicas, Instituto Universitário Italiano de Rosario (IUNIR), Rosario, Santa Fe, Argentina. E-mail: cardozoluana@hotmail.com

² Mestre em Nutrição, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Paraná, Brasil.
E-mail: debora_salles@ufpr.br

³ Doutora em Nutrição, Secretaria de Estado da Educação de Santa Catarina (SED), Mafra, Santa Catarina, Brasil.
E-mail: ivonilce.venturi@gmail.com

⁴ Pós-graduado em Farmácia, Faculdade do Leste Mineiro (FACULESTE), Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Brasil. E-mail: heringer.01@gmail.com

⁵ Pós-graduada em Nutrição, Faculdade São Lucas (FSL), Porto Velho, Rondônia, Brasil.
E-mail: alexsara_nutri@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

Os óleos e gorduras de origem animal constituem matrizes complexas, formadas predominantemente por triacilgliceróis e por diferentes ácidos graxos, além de componentes minoritários que podem apresentar interesse nutricional e biológico. Entre essas fontes, encontra-se o óleo de avestruz (*Struthio camelus*), cuja composição tem despertado interesse científico, especialmente pela presença de diferentes classes lipídicas e pelo seu perfil de ácidos graxos. Estudos de caracterização química demonstram a ocorrência de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados, com destaque para os ácidos oleico, palmítico e linoleico, além de outros constituintes presentes em menores proporções (Yang *et al.*, 2010; Ponphaiboon *et al.*, 2018).

Apesar dos estudos existentes sobre a composição lipídica do óleo de avestruz, grande parte das investigações tem se concentrado na caracterização de seus ácidos graxos, triacilgliceróis e propriedades físico-químicas. Dessa forma, a investigação de outros constituintes presentes nessa matriz pode contribuir para ampliar o conhecimento sobre sua composição química e fornecer subsídios para pesquisas posteriores acerca de sua relevância nutricional. Entre os compostos de interesse estão os alquilgliceróis, a vitamina K2 e o triptofano, substâncias que apresentam características químicas e funções fisiológicas distintas.

Os alquilgliceróis pertencem a uma classe de lipídios éteres encontrados naturalmente em diferentes organismos e tecidos. Algumas das fontes mais estudadas desses compostos são os óleos provenientes de organismos marinhos, especialmente de determinados peixes cartilaginosos. O interesse científico pelos alquilgliceróis está relacionado às suas características estruturais, ao seu envolvimento no metabolismo de lipídios éteres e às atividades biológicas investigadas em estudos experimentais (Iannitti; Palmieri, 2010).

A identificação desses compostos em outras matrizes lipídicas de origem animal pode, portanto, contribuir para ampliar o conhecimento sobre sua distribuição em diferentes fontes.

A vitamina K compreende um grupo de compostos lipossolúveis, entre os quais se encontram a filoquinona, denominada vitamina K1, e as menaquinonas, geralmente agrupadas sob a denominação vitamina K2. As menaquinonas diferem quanto ao comprimento e à estrutura de suas cadeias laterais e podem estar presentes em alimentos fermentados e em determinados alimentos de origem animal. A vitamina K desempenha função essencial como cofator para a carboxilação de proteínas dependentes dessa vitamina, envolvidas em processos fisiológicos como a coagulação sanguínea e o metabolismo ósseo (Walther *et al.*, 2013).

O triptofano, por sua vez, é um aminoácido essencial obtido por meio da alimentação e utilizado pelo organismo tanto para a síntese proteica quanto como substrato de diferentes vias metabólicas. Entre essas vias, destaca-se sua participação como precursor da serotonina e sua metabolização pela via das quinureninas, originando compostos relacionados a diferentes processos fisiológicos (Richard *et al.*, 2009). A determinação de sua presença em diferentes matrizes alimentares é relevante para a caracterização de sua composição nutricional.

Diante desse contexto, o problema que norteou esta investigação está relacionado à necessidade de ampliar a caracterização da composição do óleo de avestruz para além de seu perfil tradicionalmente descrito de ácidos graxos. Assim, estabeleceu-se como questão de pesquisa: alquilgliceróis, vitamina K2 e triptofano estão presentes em concentrações detectáveis no óleo de avestruz analisado? Como hipótese de trabalho, considerou-se que o óleo de avestruz apresenta quantidades detectáveis desses três compostos por meio de técnicas analíticas apropriadas.

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade de ampliar as informações disponíveis acerca da composição química do óleo de avestruz, especialmente em relação a constituintes ainda menos explorados quando comparados ao seu perfil de ácidos graxos. A identificação e a quantificação desses compostos podem contribuir para uma caracterização mais abrangente dessa matriz e fornecer informações iniciais para futuras pesquisas destinadas a investigar sua biodisponibilidade e eventual relevância nutricional e fisiológica. Ressalta-se, entretanto, que a identificação química de um composto não permite, isoladamente, estabelecer efeitos clínicos ou terapêuticos decorrentes do consumo do produto.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo geral identificar e quantificar alquilgliceróis, vitamina K2 e triptofano em óleo de avestruz por meio de análises cromatográficas. Como objetivos específicos, buscou-se identificar a presença de alquilgliceróis e determinar sua concentração na amostra analisada; identificar e quantificar a vitamina K2; identificar e quantificar o triptofano; e contribuir para a ampliação do conhecimento acerca da composição química do óleo de avestruz.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Óleo de Avestruz: Composição Química e Caracterização

O óleo de avestruz (*Struthio camelus*) é uma matriz lipídica de origem animal cuja composição tem sido investigada principalmente em relação ao perfil de ácidos graxos, aos

triacilgliceróis e às propriedades físico-químicas. Embora seu uso tenha sido relacionado a diferentes aplicações alimentícias, cosméticas e farmacêuticas, a produção científica disponível ainda é consideravelmente mais limitada quando comparada àquela existente para outros óleos de origem animal e vegetal. Essa característica torna relevante não apenas a descrição de sua composição majoritária, mas também a investigação de constituintes menos explorados que possam contribuir para uma caracterização química mais abrangente do produto.

Entre os estudos analíticos disponíveis, Zhou *et al.* (2013) investigaram a composição do óleo de avestruz por cromatografia e espectrometria de massas, identificando sete ácidos graxos: ácido oleico, palmítico, palmitoleico, linoleico, esteárico, γ -linolênico e α -linolênico. Além disso, foram caracterizados 24 triacilgliceróis, demonstrando que a composição da matriz não se restringe à identificação isolada dos ácidos graxos, mas envolve diferentes combinações estruturais desses componentes nos triacilgliceróis (Zhou *et al.*, 2013).

Esses resultados são importantes porque evidenciam a predominância de ácidos graxos monoinsaturados e poli-insaturados na composição do óleo, ao mesmo tempo em que demonstram a presença de ácidos graxos saturados em proporções menores. Fatores relacionados à origem dos animais, alimentação, localização anatômica do tecido adiposo, condições de processamento e métodos de obtenção do óleo podem interferir em suas características químicas. Dessa maneira, a comparação entre diferentes investigações deve considerar não apenas os valores encontrados para cada ácido graxo, mas também as condições nas quais as amostras foram produzidas e analisadas.

Essa influência do processamento foi demonstrada por Ponphaiboon *et al.* (2018), que compararam óleos obtidos a partir do tecido adiposo abdominal de avestruzes por dois métodos distintos de processamento. Os autores avaliaram propriedades físico-químicas, composição de ácidos graxos e atividade antioxidante. Embora os dois métodos tenham produzido óleos com parâmetros considerados aceitáveis, foram observadas diferenças entre as amostras, incluindo maior concentração total de ácidos graxos poli-insaturados, maior teor de ferro e maior atividade antioxidante no óleo produzido pelo método desenvolvido pelos pesquisadores. Esses achados demonstram que a composição e determinadas propriedades do óleo podem ser modificadas pelas condições de processamento, o que dificulta generalizações a partir da análise de um único produto ou método de obtenção (Ponphaiboon *et al.*, 2018).

Os estudos de Zhou *et al.* (2013) e Ponphaiboon *et al.* (2018), portanto, convergem ao demonstrar que o óleo de avestruz apresenta composição lipídica diversificada e que o ácido oleico constitui um dos componentes predominantes. Entretanto, enquanto Zhou *et al.* (2013) direcionaram a investigação para a caracterização estrutural dos triacilgliceróis e do perfil de

ácidos graxos, Ponphaiboon *et al.* (2018) ampliaram a avaliação para parâmetros físico-químicos, atividade antioxidante e efeitos do processamento. A diferença entre os objetivos metodológicos desses trabalhos evidencia que o conhecimento produzido sobre o óleo depende diretamente das classes de compostos investigadas e das técnicas analíticas empregadas.

Resultados posteriores também têm reforçado o interesse em sua caracterização como ingrediente alimentar. Em estudo sobre a utilização do óleo de avestruz como substituto de gorduras vegetais em fórmulas infantis, Dalvi-Isfahan *et al.* (2023) identificaram os ácidos palmítico, oleico e linoleico como componentes predominantes. Os pesquisadores também avaliaram a distribuição posicional dos ácidos graxos nos triacilgliceróis, o teor de colesterol e propriedades físico-químicas do óleo, comparando-o com a gordura do leite humano e com óleos vegetais. O estudo demonstra uma ampliação das pesquisas para além da simples determinação percentual dos ácidos graxos, incorporando aspectos relacionados à organização estrutural dos lipídios e à possível utilização tecnológica da matriz.

A comparação entre esses estudos mostra, contudo, que a literatura referente ao óleo de avestruz permanece concentrada especialmente nos componentes lipídicos majoritários. Ácidos graxos, triacilgliceróis, colesterol, propriedades físico-químicas, estabilidade e capacidade antioxidante têm recebido maior atenção, enquanto outros constituintes da matriz ainda aparecem de forma menos sistemática na produção científica. A própria investigação de Ponphaiboon *et al.* (2018) reconhece que o conhecimento científico sobre os componentes do óleo de avestruz e suas propriedades permanece limitado, aspecto que continua relevante diante do número relativamente reduzido de estudos de caracterização disponíveis.

Uma revisão recente sobre o óleo de avestruz também reforça essa limitação ao reunir estudos sobre métodos de obtenção, propriedades físico-químicas, composição e possíveis aplicações alimentícias, farmacêuticas e cosméticas, indicando que ainda há espaço para aprofundar a caracterização de seus componentes e estabelecer melhor a relação entre composição, processamento e aplicações propostas (Rodriguez Amado *et al.*, 2025). A existência de diferentes possibilidades de utilização, portanto, não elimina a necessidade de caracterização química rigorosa; ao contrário, torna essa etapa ainda mais necessária para definir quais compostos efetivamente estão presentes e em quais concentrações.

Nesse sentido, a literatura permite reconhecer uma assimetria no conhecimento sobre o óleo de avestruz: enquanto seu perfil de ácidos graxos e parte de sua composição em triacilgliceróis encontram respaldo em estudos analíticos, as informações sobre outros constituintes permanecem menos consolidadas. Essa lacuna é particularmente relevante quando se consideram compostos presentes em menores concentrações ou pertencentes a classes

químicas diferentes dos ácidos graxos tradicionalmente investigados. A ampliação dessa caracterização depende da aplicação de métodos analíticos específicos e constitui etapa necessária antes que sejam propostas interpretações sobre eventual relevância nutricional ou fisiológica desses componentes.

2.2 Alquilgliceróis: Características, Fontes e Evidências Científicas

Os alquilgliceróis (AKG) constituem uma classe particular de lipídios éteres caracterizados pela presença de uma ligação éter entre uma cadeia alquílica e o esqueleto de glicerol. Essa característica estrutural os diferencia dos glicerolipídios convencionais, nos quais os ácidos graxos encontram-se ligados predominantemente por ligações éster. Entre os alquilgliceróis naturalmente encontrados destacam-se o álcool batílico, o álcool quimílico e o álcool selaquílico, compostos que apresentam diferenças relacionadas principalmente à estrutura e ao grau de insaturação da cadeia alquílica (Iannitti; Palmieri, 2010).

Os lipídios éteres encontram-se distribuídos em diferentes organismos e desempenham funções relacionadas à estrutura das membranas celulares e à sinalização biológica. No organismo dos mamíferos, sua biossíntese apresenta relação com processos metabólicos que envolvem os peroxissomos, e diferentes formas de lipídios éteres integram membranas e vias de sinalização celular. Essa diversidade demonstra que os alquilgliceróis não devem ser compreendidos apenas como componentes exógenos provenientes da alimentação, mas como moléculas relacionadas ao metabolismo de uma família mais ampla de lipídios éteres (Dean; Lodhi, 2018).

Em relação às fontes naturais, a literatura tem concentrado especial atenção nos organismos marinhos. Óleos provenientes do fígado de peixes cartilaginosos, particularmente tubarões, são historicamente reconhecidos como fontes relevantes de alquilgliceróis. Iannitti e Palmieri (2010), ao revisarem estudos experimentais e clínicos, destacaram o óleo de fígado de tubarão como uma das principais fontes investigadas desses compostos. Revisões posteriores mantêm essa perspectiva, indicando os organismos marinhos, especialmente peixes cartilaginosos, como fontes importantes de alquilgliceróis, embora esses lipídios também possam ocorrer em outras matrizes biológicas (Li *et al.*, 2024).

A distribuição dos alquilgliceróis, entretanto, não se restringe ao ambiente marinho. Lipídios éteres estão presentes em diferentes organismos e tecidos, e pesquisas recentes têm ampliado a investigação de sua ocorrência em alimentos, microrganismos e outras fontes naturais. Essa ampliação é relevante porque demonstra que a predominância dos estudos

envolvendo óleo de fígado de tubarão não deve ser interpretada como evidência de exclusividade dessa fonte. Ao contrário, pode refletir o histórico de investigação e as maiores concentrações encontradas em determinadas espécies marinhas. Assim, permanece pertinente caracterizar outras matrizes lipídicas para determinar a presença, as espécies moleculares e as concentrações desses compostos (Li *et al.*, 2024).

Outro aspecto relevante refere-se aos métodos utilizados para sua identificação e quantificação. A análise dos alquilgliceróis apresenta desafios relacionados à diversidade estrutural, à ocorrência em baixas concentrações em determinadas matrizes e à disponibilidade limitada de padrões analíticos. Técnicas baseadas em cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) e cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC-MS) têm sido utilizadas para sua caracterização. A GC-MS tem aplicação particularmente importante na determinação da composição total e do conteúdo de alquilgliceróis, enquanto abordagens por LC-MS podem fornecer informações mais detalhadas sobre espécies moleculares esterificadas (Li *et al.*, 2024).

Do ponto de vista biológico, os alquilgliceróis têm despertado interesse devido às diferentes atividades observadas em estudos experimentais. A literatura descreve investigações relacionadas à modulação da resposta imunológica, processos inflamatórios, metabolismo lipídico e outras respostas biológicas. Iannitti e Palmieri (2010) reuniram evidências provenientes de estudos em animais e seres humanos e demonstraram que esses compostos vêm sendo investigados há décadas em diferentes contextos. Contudo, a heterogeneidade dos desenhos experimentais, das fontes de alquilgliceróis, das doses empregadas e das populações avaliadas limita a generalização dos resultados.

Essa cautela permanece pertinente diante das evidências mais recentes. Embora novos estudos continuem investigando os alquilgliceróis como lipídios funcionais, a relação causal entre alterações nos níveis endógenos de lipídios éteres e diferentes desfechos de saúde ainda são investigados cientificamente. A interpretação da relevância nutricional exige considerar a concentração encontrada, a quantidade efetivamente ingerida, o metabolismo e a biodisponibilidade dos compostos (Li *et al.*, 2024).

Observa-se, portanto, uma convergência na literatura quanto à importância dos organismos marinhos, sobretudo peixes cartilaginosos, como fontes bem estudadas de alquilgliceróis e quanto ao interesse biológico desses lipídios. Por outro lado, persistem lacunas referentes à distribuição e à concentração dos alquilgliceróis em outras matrizes alimentares. Essas limitações justificam a necessidade de estudos de caracterização química capazes de identificar e quantificar alquilgliceróis em fontes ainda pouco investigadas.

Nesse contexto, a investigação desses compostos no óleo de avestruz insere-se em uma perspectiva de ampliação do conhecimento sobre sua composição química. Considerando que grande parte da literatura referente a esse óleo está concentrada no perfil de ácidos graxos e triacilgliceróis, a análise de alquilgliceróis representa uma abordagem complementar de caracterização.

2.3 Vitamina K2: Formas, Fontes e Relevância Nutricional

A vitamina K corresponde a uma família de compostos lipossolúveis que compartilham uma estrutura química comum, mas diferem quanto às características de suas cadeias laterais. Entre as formas naturalmente encontradas destacam-se a filoquinona, conhecida como vitamina K1, e as menaquinonas, frequentemente agrupadas sob a denominação vitamina K2. A filoquinona está presente predominantemente em alimentos de origem vegetal, especialmente vegetais folhosos verdes, enquanto as menaquinonas apresentam distribuição mais diversificada, sendo encontradas em determinados alimentos de origem animal e, particularmente, em produtos fermentados (Walther *et al.*, 2013; Shea; Booth, 2016).

A utilização da expressão “vitamina K2” como referência a um único composto, entretanto, requer cautela. As menaquinonas constituem um conjunto de moléculas diferenciadas pelo número de unidades isoprenoides presentes em sua cadeia lateral, sendo geralmente representadas pela nomenclatura MK-*n*. Entre elas, destacam-se a menaquinona-4 (MK-4) e a menaquinona-7 (MK-7), além de formas de cadeia mais longa, como MK-8 e MK-9. Essas diferenças estruturais são relevantes, uma vez que as diferentes menaquinonas podem apresentar particularidades quanto às fontes alimentares, metabolismo, absorção, distribuição e propriedades farmacocinéticas (Walther *et al.*, 2013; Shea; Booth, 2016).

A origem das menaquinonas também apresenta diferenças importantes. A MK-4 distingue-se de as menaquinonas de cadeia mais longa por poder ser formada em tecidos animais a partir de outras formas de vitamina K, sendo encontrada em diferentes alimentos de origem animal. Por outro lado, menaquinonas como MK-7, MK-8 e MK-9 apresentam forte relação com a atividade bacteriana e são encontradas principalmente em determinados alimentos fermentados. Entre essas fontes, destaca-se o *natto*, alimento tradicional japonês obtido pela fermentação da soja, reconhecido por apresentar concentrações elevadas de MK-7. Diferentes tipos de queijos e outros produtos fermentados também podem apresentar menaquinonas, embora o perfil e a concentração variem conforme os microrganismos envolvidos e as condições de produção (Walther *et al.*, 2013).

A MK-7 tem recebido atenção particular na literatura devido às suas características farmacocinéticas. Quando comparada a algumas outras formas de vitamina K, apresenta maior permanência na circulação, característica que pode influenciar sua disponibilidade para tecidos extra-hepáticos. Entretanto, essas particularidades não permitem considerar todas as formas de vitamina K2 como biologicamente equivalentes. A interpretação dos estudos deve levar em consideração qual menaquinona foi investigada, a dose utilizada, a forma de administração e as características da população estudada.

A diversidade das menaquinonas também representa uma questão importante para os estudos de composição dos alimentos. Investigações analíticas demonstram que a concentração e o tipo de menaquinona podem variar consideravelmente entre diferentes matrizes. Dunlop *et al.* (2022), ao analisarem alimentos comercializados na Austrália, observaram diferenças importantes na distribuição das formas de vitamina K2 entre as categorias avaliadas. A MK-4 apresentou maior ocorrência entre produtos de origem animal, enquanto a distribuição da MK-7 foi mais restrita, evidenciando que a utilização genérica da expressão “vitamina K2” pode ocultar diferenças importantes entre as menaquinonas presentes em determinado alimento.

Walther *et al.* (2013) também demonstram que produtos fermentados e determinados alimentos de origem animal podem contribuir para a ingestão de menaquinonas, embora a quantidade e o perfil dessas moléculas sejam influenciados por diferentes fatores. Nos alimentos fermentados, as espécies bacterianas utilizadas e as condições do processo produtivo podem modificar significativamente o perfil de menaquinonas. Nos produtos de origem animal, fatores relacionados à alimentação e ao metabolismo dos animais também podem influenciar sua composição. Consequentemente, valores identificados em uma determinada matriz não devem ser automaticamente extrapolados para produtos semelhantes ou provenientes de diferentes condições de produção.

Essa variabilidade evidencia uma limitação importante dos dados disponíveis sobre composição alimentar. Enquanto a filoquinona encontra-se relativamente bem caracterizada em bancos de dados nutricionais, as informações referentes às diferentes menaquinonas ainda são mais limitadas. Shea e Booth (2016) destacam que a composição de vitamina K nos alimentos e sua utilização pelo organismo devem ser interpretadas considerando a forma química presente e a matriz alimentar. Dessa maneira, a determinação analítica das menaquinonas em matrizes ainda pouco investigadas pode contribuir para ampliar o conhecimento sobre sua distribuição nos alimentos.

Do ponto de vista fisiológico, a vitamina K exerce função essencial como cofator da enzima γ -glutamil carboxilase, necessária para a carboxilação e ativação de proteínas

dependentes dessa vitamina. Entre essas proteínas estão fatores envolvidos na coagulação sanguínea e proteínas presentes em outros tecidos, incluindo aquelas relacionadas ao metabolismo ósseo. Nas últimas décadas, diferentes estudos também têm investigado possíveis relações entre o estado nutricional de vitamina K, especialmente das menaquinonas, e outros processos fisiológicos.

Entretanto, é necessário distinguir a função bioquímica estabelecida da vitamina K das possíveis repercussões clínicas atribuídas especificamente à suplementação com determinadas menaquinonas.

Observa-se, portanto, uma convergência na literatura quanto à importância fisiológica da vitamina K e à existência de diferentes menaquinonas nos alimentos. Por outro lado, permanecem lacunas quanto à distribuição quantitativa das formas individuais de vitamina K2 em diferentes matrizes alimentares, especialmente naquelas menos estudadas. A MK-7 encontra-se fortemente associada, na literatura, a processos de fermentação bacteriana e a determinados alimentos fermentados, enquanto sua ocorrência e concentração em outras matrizes necessitam de maior caracterização.

Nesse contexto, a investigação da menaquinona-7 (MK-7) no óleo de avestruz representa uma ampliação da caracterização química dessa matriz. Considerando que os estudos disponíveis sobre o óleo de avestruz têm se concentrado principalmente no perfil de ácidos graxos, triacilgliceróis e propriedades físico-químicas, a análise específica de MK-7 aborda um constituinte menos explorado.

2.4 Triptofano: Metabolismo, Fontes e Caracterização em Alimentos

O triptofano é um aminoácido essencial e, por não ser sintetizado em quantidades suficientes pelo organismo humano, deve ser obtido por meio da alimentação. Além de integrar a síntese de proteínas, apresenta importância metabólica por atuar como precursor de diferentes compostos biologicamente ativos. Entre seus principais produtos metabólicos estão a serotonina, a melatonina e metabólitos formados pela via das quinureninas, demonstrando que sua relevância fisiológica ultrapassa sua participação estrutural nas proteínas (Richard *et al.*, 2009; Friedman, 2018).

As fontes alimentares de triptofano são predominantemente alimentos que fornecem proteínas. Carnes, pescados, ovos e produtos lácteos constituem fontes de origem animal, enquanto leguminosas, cereais, sementes e outros alimentos vegetais também contribuem para sua ingestão. Entretanto, o conteúdo de triptofano varia entre as diferentes proteínas alimentares

e, de modo geral, sua proporção nas proteínas é menor quando comparada à de vários outros aminoácidos essenciais. Dessa maneira, a presença e a quantidade desse aminoácido dependem tanto da composição da matriz alimentar quanto das características das proteínas que a constituem (Friedman, 2018).

Após a ingestão e absorção, o triptofano pode seguir diferentes destinos metabólicos. Uma parcela é utilizada para síntese proteica, enquanto outra é direcionada para vias metabólicas responsáveis pela formação de compostos biologicamente ativos. Entre essas rotas, destacam-se a via das quinureninas e a via serotoninérgica. Embora a associação entre triptofano e serotonina seja amplamente difundida, a formação de serotonina representa apenas uma parcela do metabolismo desse aminoácido, enquanto a via das quinureninas responde pela maior parte de sua degradação metabólica (Badawy, 2017).

A via das quinureninas origina diferentes metabólitos e participa de processos relacionados à produção de nicotinamida adenina dinucleotídeo (NAD⁺), além de gerar compostos com propriedades neuroativas e imunorregulatórias. Sua atividade é regulada por diferentes enzimas e pode sofrer influência de condições fisiológicas e inflamatórias. Esse aspecto evidencia a complexidade do metabolismo do triptofano e demonstra que a simples associação desse aminoácido exclusivamente à síntese de serotonina representa uma interpretação limitada de suas funções metabólicas (Badawy, 2017).

A via serotoninérgica, por sua vez, possui importância fisiológica reconhecida. O triptofano constitui o precursor necessário para a síntese de serotonina, que ocorre tanto no sistema nervoso central quanto em tecidos periféricos. Posteriormente, a serotonina também participa da via de formação da melatonina. Richard *et al.* (2009) destacam que alterações na disponibilidade de triptofano podem modificar a síntese cerebral de serotonina, razão pela qual esse aminoácido tem sido amplamente investigado em estudos relacionados ao comportamento, cognição e humor.

Entretanto, a relação entre ingestão alimentar de triptofano e síntese cerebral de serotonina não é linear. O transporte do triptofano através da barreira hematoencefálica envolve competição com outros aminoácidos neutros de cadeia longa pelo sistema de transporte. Consequentemente, a quantidade absoluta de triptofano presente em determinado alimento não determina, isoladamente, sua disponibilidade para síntese de serotonina no sistema nervoso central. A composição global da refeição e a relação entre o triptofano e os aminoácidos competidores constituem fatores importantes nessa dinâmica (Jenkins *et al.*, 2016).

Esse aspecto permite estabelecer uma distinção importante entre composição química e efeito fisiológico. A identificação de triptofano em um alimento demonstra a presença do

aminoácido na matriz analisada, mas não permite concluir diretamente que seu consumo aumentará a produção cerebral de serotonina ou produzirá efeitos sobre humor, sono ou comportamento. Para estabelecer essas relações devem ser considerados a quantidade ingerida, digestibilidade, biodisponibilidade, composição da refeição, metabolismo individual e competição pelo transporte através da barreira hematoencefálica.

Além das vias metabólicas humanas, estudos mais recentes têm destacado a participação da microbiota intestinal no metabolismo do triptofano. Parte do aminoácido que alcança o trato gastrointestinal pode ser metabolizada por microrganismos, originando derivados indólicos capazes de interagir com diferentes sistemas biológicos. Paralelamente, as vias das quinureninas e da serotonina estabelecem outras conexões entre metabolismo, sistema gastrointestinal, sistema imunológico e sistema nervoso. Dessa forma, a literatura contemporânea apresenta o metabolismo do triptofano como uma rede complexa, e não como uma via direcionada exclusivamente à produção de serotonina.

A complexidade também se estende à determinação analítica do triptofano nos alimentos. Friedman (2018) ressalta que sua quantificação apresenta particularidades metodológicas, uma vez que o anel indólico do triptofano pode ser degradado nas condições ácidas tradicionalmente empregadas para hidrólise de proteínas durante análises de aminoácidos. Por essa razão, diferentes técnicas analíticas têm sido desenvolvidas para determinar triptofano livre e ligado às proteínas em alimentos, suplementos, tecidos e fluidos biológicos. A escolha e validação do método são, portanto, aspectos relevantes para a interpretação dos valores encontrados.

Essa questão metodológica assume especial importância quando o triptofano é investigado em uma matriz na qual sua ocorrência não está amplamente caracterizada. A identificação de uma substância por técnica analítica deve ser interpretada considerando especificidade, sensibilidade, preparo da amostra, padrão utilizado e forma química determinada. Além disso, resultados provenientes de uma única amostra não devem ser automaticamente generalizados para todos os produtos de mesma origem, especialmente quando fatores relacionados à matéria-prima, processamento e armazenamento podem interferir na composição final.

No contexto do óleo de avestruz, a investigação do triptofano apresenta uma particularidade adicional. Diferentemente dos ácidos graxos e triacilgliceróis, que constituem componentes esperados de uma matriz predominantemente lipídica, o triptofano pertence à classe dos aminoácidos. Assim, sua identificação nessa matriz amplia o escopo da caracterização química para além da fração lipídica tradicionalmente estudada. Ao mesmo

tempo, essa diferença de natureza química reforça a necessidade de interpretação cautelosa e de descrição detalhada do método utilizado para sua identificação e quantificação.

Observa-se, portanto, que a literatura apresenta consenso quanto à essencialidade do triptofano e à sua participação em diferentes vias metabólicas, particularmente na síntese proteica e nas vias das quinureninas e da serotonina. Entretanto, também demonstra que a concentração de triptofano em um alimento não pode ser utilizada isoladamente para prever seus efeitos fisiológicos. Essa distinção é fundamental para estudos de composição alimentar, nos quais a identificação e a quantificação representam inicialmente uma contribuição para a caracterização química da matriz investigada.

Dessa forma, a determinação de triptofano no óleo de avestruz deve ser compreendida dentro da proposta de ampliar o conhecimento acerca da composição desse produto. Considerando a predominância de estudos direcionados aos componentes lipídicos do óleo, a investigação de um aminoácido representa uma abordagem distinta e ainda pouco explorada. A confirmação do achado em diferentes amostras, associada à caracterização metodológica e a estudos posteriores de estabilidade e biodisponibilidade, será necessária para estabelecer sua relevância nutricional.

3 METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem quantitativa, de caráter descritivo e analítico, desenvolvida por meio de análise laboratorial e complementada por pesquisa bibliográfica. A abordagem quantitativa foi adotada considerando a finalidade de identificar e quantificar compostos presentes em uma amostra de óleo de avestruz, especificamente alquilgliceróis, vitamina K2 na forma de menaquinona-7 (MK-7) e triptofano. A pesquisa bibliográfica foi utilizada como suporte para a fundamentação teórica e posterior discussão dos resultados obtidos.

A amostra de óleo de avestruz utilizada no estudo foi adquirida de uma indústria fabricante do produto comercializado como suplemento alimentar, localizada no município de Mirante da Serra, região Norte do Brasil. O material foi destinado à investigação de sua composição química, com ênfase na identificação e quantificação dos compostos definidos como objeto da pesquisa.

As amostras foram encaminhadas para análises laboratoriais no Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e no CEIMIC Life Sciences Testing Group, localizado no município de Pedreira, estado de São Paulo.

A dosagem dos compostos foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC, do inglês *High Performance Liquid Chromatography*). As análises foram realizadas em triplicata, correspondendo a três pesagens distintas da amostra. Os resultados foram expressos de acordo com as unidades empregadas para cada composto, e o desvio apresentado correspondeu ao desvio-padrão das determinações realizadas em triplicata.

Foram investigados três componentes: alquilgliceróis, menaquinona-7 (MK-7) e triptofano. Os dados quantitativos obtidos nas análises laboratoriais foram organizados e submetidos à análise descritiva para apresentação das concentrações determinadas na amostra de óleo de avestruz.

Paralelamente à etapa laboratorial, foi realizada pesquisa bibliográfica com a finalidade de fundamentar teoricamente o estudo e subsidiar a interpretação dos resultados. Foram consultados trabalhos científicos relacionados à composição química do óleo de avestruz, aos alquilgliceróis, às menaquinonas, com ênfase na MK-7, e ao triptofano. A literatura selecionada foi utilizada para contextualizar os compostos investigados e estabelecer o diálogo entre os resultados analíticos obtidos e as evidências científicas disponíveis.

Por se tratar de uma investigação de caracterização química de uma amostra de produto, sem participação direta de seres humanos ou animais, não foram realizadas intervenções clínicas, entrevistas, aplicação de questionários ou procedimentos experimentais em indivíduos. A interpretação dos resultados foi restrita à identificação e quantificação química dos compostos investigados, não sendo avaliadas sua biodisponibilidade ou os efeitos fisiológicos e clínicos decorrentes do consumo do óleo.

4 DISCUSSÃO E RESULTADOS

As análises realizadas na amostra de óleo de avestruz permitiram identificar e quantificar os três compostos definidos como objeto desta investigação: alquilgliceróis, menaquinona-7 (MK-7) e triptofano. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Concentração de alquilgliceróis, menaquinona-7 (MK-7) e triptofano identificados na amostra de óleo de avestruz

Composto analisado	Concentração
Alquilgliceróis	56,35 mg/100 mL
Vitamina K2 - Menaquinona-7 (MK-7)	1.399,88 µg/100 mL
Triptofano	230 µg/100 mL

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa (2026).

Conforme demonstrado na Tabela 1, os três compostos investigados foram detectados na amostra analisada. Os resultados ampliam a caracterização química do óleo de avestruz para além dos constituintes que têm recebido maior atenção na literatura, especialmente os ácidos graxos e triacilgliceróis. Zhou *et al.* (2013), ao analisarem a composição do óleo de avestruz por técnicas cromatográficas e espectrométricas, identificaram diferentes ácidos graxos e 24 triacilgliceróis.

De maneira complementar, Ponphaiboon *et al.* (2018) investigaram propriedades físico-químicas, composição de ácidos graxos e atividade antioxidante, demonstrando ainda que diferentes métodos de processamento podem interferir nas características do óleo. Esses estudos convergem ao demonstrar a complexidade da matriz lipídica, embora tenham direcionado suas análises para componentes distintos daqueles investigados no presente trabalho.

Os alquilgliceróis foram identificados na concentração de 56,35 mg/100 mL. Esses compostos pertencem à classe dos lipídios éteres e são descritos na literatura principalmente em fontes de origem marinha. Iannitti e Palmieri (2010) destacam os óleos provenientes do fígado de determinados peixes cartilaginosos, especialmente tubarões, entre as fontes naturais mais investigadas de alquilgliceróis. Nesse sentido, a identificação desses compostos na amostra de óleo de avestruz analisada acrescenta uma informação à caracterização química de uma matriz lipídica de origem animal distinta das fontes tradicionalmente abordadas na literatura.

Embora diferentes atividades biológicas tenham sido investigadas para os alquilgliceróis, incluindo possíveis ações relacionadas à modulação imunológica, os resultados da presente pesquisa não avaliaram esses efeitos. Portanto, a contribuição do achado está relacionada à identificação e quantificação química desses compostos no óleo analisado, não sendo possível extrapolar o resultado para efeitos fisiológicos ou terapêuticos decorrentes de seu consumo.

Em relação à vitamina K2, foi identificada especificamente a forma menaquinona-7 (MK-7), na concentração de 1.399,88 µg/100 mL. Esse resultado merece atenção porque as diferentes menaquinonas não apresentam distribuição uniforme nos alimentos. Walther *et al.* (2013) demonstram que as formas de vitamina K2 apresentam diferenças relacionadas às fontes alimentares e à atividade bacteriana, sendo a MK-7 particularmente associada a alimentos fermentados. Entre eles, destaca-se o *natto*, produto tradicional japonês derivado da fermentação da soja e reconhecido na literatura como uma importante fonte alimentar de MK-7.

A identificação de MK-7 no óleo de avestruz diferencia-se, portanto, do padrão de fontes alimentares mais frequentemente discutido na literatura. Enquanto a MK-4 é descrita em diferentes produtos de origem animal, formas de cadeia mais longa, como a MK-7, apresentam maior associação com processos de origem bacteriana (Walther *et al.*, 2013). Dunlop *et al.* (2022), ao avaliarem diferentes alimentos, também observaram variação considerável na distribuição das menaquinonas, reforçando a necessidade de distinguir as formas específicas de vitamina K2 durante a caracterização da composição alimentar.

O resultado obtido deve ser compreendido, portanto, como evidência analítica da presença de MK-7 na amostra investigada.

O terceiro composto identificado foi o triptofano, na concentração de 230 µg/100 mL. Diferentemente dos alquilgliceróis e da MK-7, o triptofano é um aminoácido essencial, cuja presença é tradicionalmente investigada em alimentos e matrizes proteicas. Friedman (2018) destaca que esse aminoácido participa da síntese proteica e de diferentes vias metabólicas, mas também apresenta particularidades relacionadas à sua determinação analítica em alimentos.

A identificação de triptofano no óleo de avestruz apresenta uma característica que merece atenção: trata-se da determinação de um aminoácido em uma matriz predominantemente lipídica. Esse resultado diferencia-se dos principais estudos de caracterização do óleo de avestruz, que têm se concentrado especialmente em ácidos graxos, triacilgliceróis e propriedades físico-químicas (Zhou *et al.*, 2013; Ponphaiboon *et al.*, 2018). Dessa forma, o achado amplia o conjunto de componentes investigados nessa matriz, embora sua confirmação em outras amostras seja necessária para determinar a consistência dessa ocorrência.

Friedman (2018) ressalta ainda que a determinação do triptofano apresenta desafios analíticos específicos, uma vez que esse aminoácido pode ser degradado durante procedimentos convencionais empregados na análise de proteínas. A utilização de métodos cromatográficos apropriados torna-se, portanto, particularmente importante para sua identificação e quantificação. No presente estudo, a dosagem foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), com análise em triplicata, aspecto que deve ser considerado na interpretação dos dados obtidos.

Apesar da importância fisiológica do triptofano como precursor de diferentes metabólitos, entre eles a serotonina, a quantidade identificada na amostra não permite estabelecer efeitos relacionados ao humor, sono ou outras funções fisiológicas. Richard *et al.* (2009) demonstram que o metabolismo do triptofano envolve diferentes vias, enquanto Jenkins *et al.* (2016) destacam que sua disponibilidade para o sistema nervoso central depende de

fatores adicionais, incluindo a competição com outros aminoácidos pelo transporte através da barreira hematoencefálica. Assim, a simples presença do aminoácido em uma matriz alimentar não constitui evidência de efeitos neuroquímicos ou clínicos decorrentes de seu consumo.

A análise conjunta dos resultados demonstra que os objetivos propostos foram alcançados quanto à identificação e quantificação dos três compostos investigados na amostra. Ao mesmo tempo, os achados apresentam características distintas. A identificação de alquilgliceróis amplia a análise da fração lipídica para uma classe de lipídios éteres cuja literatura se concentra principalmente em fontes marinhas; a identificação de vitamina K2 MK-7 evidencia uma menaquinona mais frequentemente relacionada a fontes fermentadas; e a determinação de triptofano acrescenta à caracterização um composto de natureza aminoacídica em uma matriz predominantemente lipídica.

Dessa maneira, os resultados contribuem para ampliar as informações disponíveis sobre a composição química do óleo de avestruz, particularmente em relação a constituintes menos abordados nos estudos de caracterização dessa matriz.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo identificar e quantificar alquilgliceróis, vitamina K2 na forma de menaquinona-7 (MK-7) e triptofano em óleo de avestruz. A partir das análises realizadas, foi possível atender ao objetivo proposto, uma vez que os três compostos investigados foram identificados e quantificados na amostra analisada.

Os achados contribuem para ampliar o conhecimento acerca da composição química do óleo de avestruz, cuja caracterização científica tem se concentrado predominantemente no perfil de ácidos graxos e em suas propriedades físico-químicas. Nesse sentido, a identificação de alquilgliceróis, MK-7 e triptofano acrescenta informações sobre constituintes menos explorados nessa matriz e reforça a importância de abordagens analíticas que investiguem sua composição para além dos componentes tradicionalmente descritos.

Entre os resultados obtidos, destaca-se a identificação de compostos de diferentes naturezas químicas. Os alquilgliceróis constituem lipídios éteres bioativos encontrados naturalmente na medula óssea, no leite materno humano e no óleo de fígado de tubarão, sendo este último uma das fontes mais tradicionalmente estudadas. Esses compostos apresentam interesse nutricional e biológico em razão de seu potencial envolvimento na modulação da resposta imunológica e de processos inflamatórios. A vitamina K2, na forma de menaquinona-7 (MK-7), apresenta relevância nutricional por participar da ativação de proteínas dependentes

de vitamina K, relacionadas, entre outras funções, à saúde óssea e à regulação do metabolismo do cálcio. O triptofano, por sua vez, é um aminoácido essencial que deve ser obtido por meio da alimentação e atua como precursor de compostos biologicamente importantes, incluindo serotonina, melatonina e niacina, participando de diferentes processos fisiológicos relacionados, entre outros aspectos, à regulação do humor, do sono e do metabolismo.

Em conjunto, a presença desses constituintes evidencia a diversidade química da matriz estudada e amplia as informações disponíveis sobre sua composição. Contudo, a identificação e a quantificação desses compostos, isoladamente, não permitem estabelecer seus efeitos fisiológicos ou benefícios à saúde decorrentes do consumo do óleo de avestruz.

Conclui-se, portanto, que a pesquisa alcançou o objetivo proposto e forneceu novos dados sobre a composição da amostra de óleo de avestruz analisada. Os resultados contribuem para o conhecimento científico dessa matriz e podem servir como base para estudos futuros destinados a aprofundar a caracterização de seus constituintes e investigar sua possível relevância fisiológica.

REFERÊNCIAS

BADAWY, Abdulla A-B. Kynurenine pathway of tryptophan metabolism: regulatory and functional aspects. **International Journal of Tryptophan Research**, v. 10, p. 1-20, 2017. DOI: 10.1177/1178646917691938.

DALVI-ISFAHAN, Mohsen; MOAMMERNEZHAD, Zohreh; TAVAKOLI, Javad. Ostrich oil as a fat substitute in milk-based infant formula. **Food Science & Nutrition**, v. 11, n. 4, p. 1872-1881, 2023. DOI: 10.1002/fsn3.3220.

DEAN, John M.; LODHI, Irfan J. Structural and functional roles of ether lipids. **Protein & Cell**, v. 9, n. 2, p. 196-206, 2018. DOI: 10.1007/s13238-017-0423-5.

DUNLOP, Eleanor *et al.* Vitamin K content of cheese, yoghurt and meat products in Australia. **Food Chemistry**, v. 397, art. 133772, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133772.

FRIEDMAN, Mendel. Analysis, nutrition, and health benefits of tryptophan. **International Journal of Tryptophan Research**, v. 11, art. 1178646918802282, 2018. DOI: 10.1177/1178646918802282.

IANNITTI, Tommaso; PALMIERI, Beniamino. An update on the therapeutic role of alkylglycerols. **Marine Drugs**, v. 8, n. 8, p. 2267-2300, 2010. DOI: 10.3390/md8082267.

JENKINS, Trisha A.; NGUYEN, Jason C. D.; POLGLAZE, Kate E.; BERTRAND, Paul P. Influence of tryptophan and serotonin on mood and cognition with a possible role of the gut-brain axis. **Nutrients**, v. 8, n. 1, art. 56, 2016. DOI: 10.3390/nu8010056.

PONPHAIBOON, Juthaporn; LIMMATVAPIRAT, Sontaya; CHAIDEDGUMJORN, Amornrut; LIMMATVAPIRAT, Chutima. Physicochemical property, fatty acid composition, and antioxidant activity of ostrich oils using different rendering methods. **LWT – Food Science and Technology**, v. 93, p. 45-50, 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.03.024.

RICHARD, Dawn M.; DAWES, Michael A.; MATHIAS, Charles W.; ACHESON, Ashley; HILL-KAPTURCZAK, Nathalie; DOUGHERTY, Donald M. L-Tryptophan: basic metabolic functions, behavioral research and therapeutic indications. **International Journal of Tryptophan Research**, v. 2, p. 45-60, 2009. DOI: 10.4137/IJTR.S2129.

RODRIGUEZ AMADO, Jesus Rafael; MORAES, Annye Vitória; LIMA, Andréa Roledo; GASPAROTTO JUNIOR, Arquimedes; MARTINES, Marco Antônio Utrera; PRADA, Ariadna Lafourcade. Ostrich oil (*Struthio camelus*) traditional knowledge, applications, and future perspectives. **Revista DELOS**, v. 18, n. 70, e6097, 2025. DOI: 10.55905/rdelosv18.n70-001.

SHEA, M. Kyla; BOOTH, Sarah L. Concepts and controversies in evaluating vitamin K status in population-based studies. **Nutrients**, v. 8, n. 1, art. 8, 2016. DOI: 10.3390/nu8010008.

WALTHER, Barbara; KARL, J. Philip; BOOTH, Sarah L.; BOYAVAL, Patrick. Menaquinones, bacteria, and the food supply: the relevance of dairy and fermented food products to vitamin K requirements. **Advances in Nutrition**, v. 4, n. 4, p. 463-473, 2013. DOI: 10.3945/an.113.003855.

WANG, H.-L.; TAN, C. P.; LIU, Y.; XU, Y.-J. Alkylglycerol: not abundant but promising functional lipid. **Trends in Food Science & Technology**, v. 153, art. 104701, 2024. DOI: 10.1016/j.tifs.2024.104701.

YANG, X. F.; WU, F. Y.; MA, Y. M.; FU, J. X.; SHI, F. P. Development and application of ostrich oil. **Food Research and Development**, v. 31, p. 221-224, 2010.

ZHOU, Yan; XUE, Ying; CHEN, Gen Chun; ZHANG, An Jiang; CHEN, Zhi Feng; LIAO, Xun; DING, Li Sheng. Rapid separation and characterisation of triacylglycerols in ostrich oil by ultra performance liquid chromatography coupled with quadrupole time-of-flight mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 141, n. 3, p. 2098-2102, 2013. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.05.079.