

Morfometria dos glóbulos de gordura do leite de ruminantes: Revisão

Roberto G. Costa¹
Neila L. Ribeiro^{2*}
David K. R. de Azevedo³
Ariosvaldo N. de Medeiros³

¹ Departamento de Ciência Animal, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Sociais, Humanas e Agrárias, Bananeiras, Paraíba, Brasil

² Instituto Nacional do Semiárido – INSA, Campina Grande, Paraíba, Brasil

³ Departamento de Zootecnia, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, Paraíba, Brasil

RESUMO

Objetivou-se com essa revisão resumir os achados sobre os fatores que interferem no diâmetro e quantidade dos glóbulos de gordura do leite (GGL) de ruminantes. Em leite de diferentes espécies existem diferentes tamanhos de GGL que variam de 0,2 a 15 µm. O diâmetro médio e o número de GGL são afetados por fatores endógenos, fisiológicos e exógenos. O tamanho do GGL varia entre espécies, sendo o diâmetro médio do GGL no ser humano de 4,53 µm, no bovino de 4,89 µm e no caprino de 3,64 µm. A proteína, um dos componentes encontrados na membrana dos GGL, representa apenas 1-4% das proteínas totais do leite. Existem várias proteínas identificadas no leite das diversas espécies que são essenciais na secreção do leite como também auxiliam nas funções benéficas que os GGL promovem à saúde humana. O conhecimento das propriedades nutricionais e funcionais dos GGL é essencial para nutrição humana por participar de diversas funções celulares. A discussão do tema ajuda a esclarecer as vantagens de usar os componentes ativos do CGL em proveito da melhor nutrição humana.

Palavras-chave: lipídeos, leite caprino, quantidade, parâmetros

Morphometry of fat globules of ruminant milk: The review

ABSTRACT

The objective of this review was to summarize the findings on factors that interfere with the diameter and quantity of ruminant milk fat globules (MFG). In milk of different species, there are different sizes for MFG ranging in size from less than 0.2 µm to a maximum of 15 µm. The mean diameter and number of MFG are affected by endogenous, physiological and exogenous factors. The size of MFG varies among species, with the mean diameter of the GGL in the human being 4.53 µm, in the bovine of 4.89 µm and the goat of 3.64 µm. The protein is one of the components found in membrane MFG, although they represent only 1-4% of total milk proteins. There are several proteins identified in the milk of several species; it is verified that they are essential in the participation of milk secretion as well as it helps in the beneficial functions that MFG promote in human health. Knowledge of the nutritional and functional properties of MFG is essential for human nutrition as it participates in several cellular functions. The discussion of the topic helps to clarify the advantages of using the active components of MFG for the benefit of better human nutrition.

Key words: goat milk, lipids, parameters, quantity

INTRODUÇÃO

Os lipídios são uma classe de moléculas com diferentes funções, é uma importante fonte de energia para as crias. Cerca de 3,5 a 6,0% do leite é constituído de lipídios (German, 2011). Os lipídios do leite estão presentes como glóbulos de gordura do leite (GGL) que são rodeados por uma membrana biológica (MGGL) (Zou et al., 2015). Essa membrana possui muitos compostos ativos que contribuem para a saúde humana, a exemplo de proteínas, ácidos graxos, peptídeos, lipídios entre outros componentes (Bauman et al, 2006).



Recebido em: 20/03/2020

Aceito em: 18/12/2020

Publicado em: 22/02/2021

Autor correspondente: neilalr@hotmail.com

Os GGL das espécies variam consideravelmente de tamanho e quantidade, o que pode ser afetado por vários fatores incluindo espécie (Yoo et al., 2016), raça (Martini et al., 2003; Carroll et al., 2006), dieta (Mesilati-Stahy et al., 2015; Argov-Argaman et al., 2016), temperatura (Nguyen et al., 2016), estágio de lactação (Martini et al., 2013a) e hormônios (Ollivier-Bousquet, 2002). O tamanho do GGL pode afetar as propriedades funcionais e nutricionais do leite, bem como a composição dos ácidos graxos (Lopez et al., 2008) além disso, afeta as propriedades tecnológicas e sensoriais e a qualidade nutricional dos produtos lácteos, pois o mesmo interfere no amadurecimento, suavidade e estrutura do queijo, bem como na estabilidade dos produtos lácteos, sendo de grande importância para as indústrias e saúde (El-Zeini et al., 2006; Lopez et al., 2011; Martini et al., 2016).

A distribuição dos GGL depende das técnicas de medição empregadas: temperatura, homogeneização, conservação e contato com reagentes, que podem alterar a estrutura da MGGL (Walstra, 1969), levando à quebra ou agregação dos GGL (Scolozzi et al., 2003). O tamanho do GGL varia entre as espécies, Yoo et al. (2016) identificaram diferentes médias de diâmetros na qual o diâmetro médio do GGL no humano foi de 4,53 µm, no bovino foi de 4,89 µm e no caprino foi de 3,64 µm. Verificando o mesmo parâmetro El-Zeini, (2006) relatou em sua pesquisa que o diâmetro do GGL de bovino teve uma média de 3,95 µm, enquanto o leite caprino teve uma média de 3,19 µm. Attaie & Richter, (2000) observaram que o diâmetro do GGL de bovino teve uma média de 3,51 µm e do leite caprino 2,79 µm. Assim como a frequência também teve uma diferença significativa, o GGL do leite bovino variou de 0,92 à 15,75 µm e nos caprinos a variação foi de 0,73 à 8,58 µm. O tamanho do GGL influencia a composição química e a digestibilidade do leite (Timmen & Patton, 1988; Jensen et al., 1991). Diante do exposto objetivou-se com essa revisão resumir os achados sobre os fatores que interferem no diâmetro e quantidade dos glóbulos de gordura do leite de ruminantes.

GLÓBULOS DE GORDURA DO LEITE (GGL)

Lipídios do Leite

Das biomoléculas celulares os lipídios são os menos conhecidos, em comparação com os polinucleotídeos (DNA e RNA), proteínas, ácidos orgânicos ou açúcares. Na composição do leite de mamíferos, os lipídios evoluíram como um grupo diversificado de biomoléculas altamente funcionais (German, 2011). A retenção da produção lipídica do leite através da evolução da lactação em mamíferos implica que esta estrutura é de considerável valor nutricional para as crias (Argov-Argaman et al., 2010).

Os lipídios estão presentes no leite como agregados multimoleculares dispersos com uma variedade de lipídios complexos em sua superfície. Dos componentes do leite, os lipídios são uma classe de moléculas com diferentes funções e importante fonte de energia para as crias. Cerca de 3,5 a 6,0% do leite é constituído por lipídios (German, 2011).

Os lipídios do leite são derivados de triglicerídeos (TAG) (98%). Esses são compostos por três ácidos graxos em ligação covalente a uma molécula de glicerol por pontes éster de colesterol (CHE) contendo gotículas de lipídios citoplasmáticos (GLC) por um processo de secreção não tradicional em que as GLC formadas no retículo endoplasmático (RE) são transportadas para a membrana plasmática apical (MPA) e

são liberadas no lúmen alveolar como estruturas conhecidas por glóbulo de gordura do leite (GGL) (Mcmanaman et al., 2007).

Origem dos GGL

De acordo com Leewenhoeck (1674) há mais de 300 anos existe gordura no leite na forma de GGL. A análise genômica da lactação tem demonstrado que os genes da lactação mais retidos através da evolução dos mamíferos são aqueles associados à produção de GGL (Lemay et al., 2009).

O GGL é primariamente um núcleo de triacilglicerídeos (tri-éster) oriundo da combinação do glicerol (um triálcool) com ácidos graxos, no qual as três hidroxilas (do glicerol) sofreram condensação carboxílica com os ácidos sintetizados no retículo endoplasmático (RE) da célula epitelial mamária (Bauman et al., 2006). Os precursores dos GGL são formados no RE de células epiteliais mamárias e são liberados no citosol como gotículas lipídicas cercadas por uma camada de proteínas e uma monocamada de fosfolipídios. Os triglicerídeos no núcleo dos GGL são sintetizados no RE rugoso, se acumulam em domínios ricos em triglicerídeos e são então, liberados como gotículas discretas no citoplasma, revestidos com lipídios polares e proteínas derivadas do RE. Após a secreção no leite, alguns GGL podem fundir uns com os outros, resultando em um aumento no diâmetro (Deeney et al., 1985; Zamora et al., 2009; Singh, 2017). O GGL é envolvido por uma membrana fina chamada membrana do GGL (MGGL) (Figura 1).

Acredita-se que a gordura do leite seja sintetizada como GGL de 0,1 a 15 µm na superfície do RE das células secretoras das glândulas mamárias. A gordura do leite geralmente é de cerca de 3 a 6% do leite total (Holmes et al., 2003) e existem glóbulos esféricos de lipídios dentro da fase sérica. Mais de 95% da gordura total no leite está presente na forma de GGL (Keenan & Dylewski, 1995; Haramisu et al., 2014; Argov-Argaman, 2016). A aplicação de microscopia eletrônica, técnicas de clonagem bioquímica e molecular e tecnologias de focagem gênica levaram a um melhor entendimento sobre a origem intracelular de GGL e a função de identidade e potencial das proteínas da MGGL na secreção lipídios-leite (Bauman et al., 2006).

Membrana do glóbulo de gordura do leite (MGGL)

A MGGL é uma mistura complexa formada principalmente por proteína e lipídio, incluindo quantidades significativas de

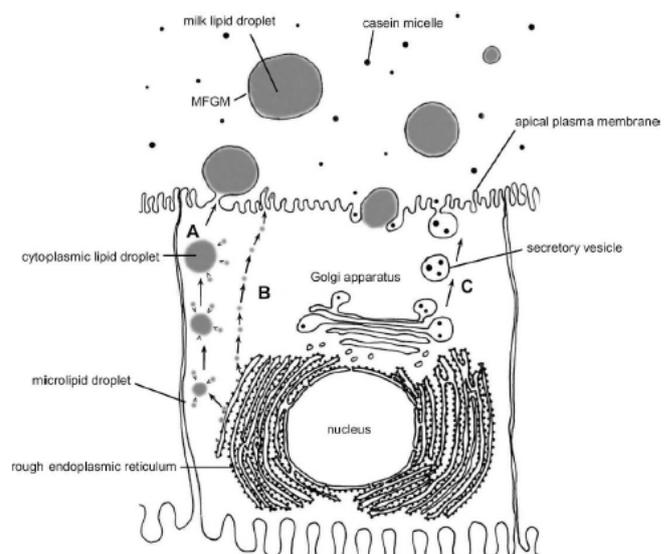


Figura 1. Secreção do Glóbulo de Gordura do Leite (Adaptado de Mather e Keenan, 1998).

colesterol, fosfatidilcolina e esfingomielina (German & Dillard, 2006; Lopez et al., 2011). Da camada mais interna para a mais externa observa-se primeiramente uma monocamada composta por lipídios polares e proteínas envolvendo o GGL, em seguida uma cobertura proteica eletrodensa e uma bicamada de lipídios polares e proteínas (Figura 2).

A MGGL atua como um agente emulsionante natural, evitando a floculação e coalescência do GGL e protegendo a gordura contra a ação enzimática, alguns deles estão evidentemente envolvidos na formação do GGL (Heid & Keenan, 2005; Zamora et al., 2009). Há evidências crescentes para o papel importante dos componentes da MGGL no desenvolvimento do intestino neonatal e sistema imunológico e no fornecimento de proteção antiviral e antimicrobiana. Além disso, a longo prazo, o alto teor de glicerolipídios pode contribuir de forma significativa para o desenvolvimento do sistema nervoso (Dewettinck et al., 2008; Lopez, 2011; Wooding & Mather, 2017).

O material que forma a MGGL é originário de regiões da membrana plasmática (MP) apical, do RE e também de outros compartimentos intracelulares. A parte da MGGL proveniente da MP apical tem uma aparência típica da bicamada e possui um material denso de elétrons na face interna da membrana. O material derivado do RE tem a aparência de uma monocamada de proteínas e lipídios polares que cobre os lipídios centrais ricos em triacilgliceróis do GGL antes da secreção (Heid & Keenan, 2005).

A proteína é um dos componentes encontrados na MGGL, embora representem apenas 1-4% das proteínas totais do leite. Existem várias proteínas identificadas no leite das diversas espécies que são essenciais na participação da secreção do leite como também auxilia nas funções benéficas que os GGL promovem na saúde humana (Evers, 2004; Keenan & Mather, 2006; Dewettinck et al., 2008). A composição e estrutura da MGGL sofre influência de diversos fatores, mas pode-se dizer que, em geral, ela é constituída em torno de 25% de proteínas, principalmente glicoproteínas, e 70% de lipídios, destes em torno de 55-70% são lipídios neutros e 45-30% lipídios polares (Fong et al., 2007).

Pesquisas demonstram que a gordura do leite está inserida na MGGL, a qual possui inúmeros componentes que inseridos na alimentação auxiliam na melhoria de várias funções, adequando e estimulando a saúde. Os componentes da MGGL atuam como agente emulsionante para os lipídeos na fase aquosa, e muitas de suas proteínas estão envolvidas em uma ampla gama de funções biológicas, como a inibição da adesão de patógenos e a participação na defesa antimicrobiana

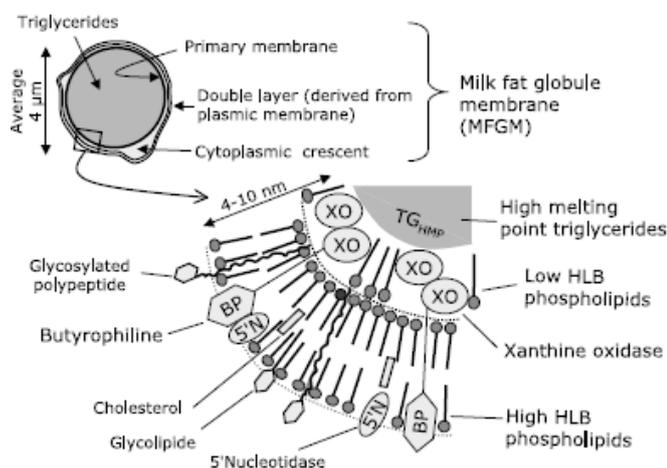


Figura 2. Membrana do Glóbulo de Gordura do leite (Michalski et al., 2002).

(Mana et al, 2004; Martin et al, 2004; Smolenski et al., 2007). A MGGL inserida na suplementação ainda promove o desenvolvimento epitelial intestinal e microbioma e confere proteção significativa contra estímulos inflamatórios nocivos (Bhinder et al., 2017)

O desenvolvimento intestinal adequado facilita o desenvolvimento geral do recém-nascido, mas também é importante na defesa apropriada contra estímulos nocivos. Isto é particularmente importante para crias prematuras que nascem com um trato gastrointestinal imaturo, deixando-os suscetíveis as infecções e enterocolite necrotizante (Schnabl et al., 2008). Hernell et al. (2016) relatam que a suplementação de MGGL parece ser segura a partir da primeira semana de vida em lactentes, proporcionando uma oportunidade para complementar a fórmula infantil com o objetivo de reduzir a diferença no desempenho entre lactentes amamentados e alimentados com fórmulas.

Fatores que alteram o tamanho e a quantidade dos GGL

Os GGL variam consideravelmente de tamanho e quantidade, o que pode ser afetado por fatores, incluindo espécie (Mehaia et al., 1995), raça (Martini et al., 2003; Carroll et al., 2006), estágio de lactação (Mulder & Walstra, 1975; Walstra, 1995); paridade (Martini et al., 2004), dieta (Wiking et al., 2003) e hormônios (Ollivier-Bousquet, 2002). Estudar as causas e medidas que interferem no tamanho e quantidade dos GGL é essencial para uma melhor compreensão (Tabela 1).

O leite de cabra é um dos mais consumido do mundo, muitos de seus componentes não têm diferença significativa do leite de vaca. Porém o leite de cabra contém quantidade maior de gordura total, incluindo níveis mais elevados de ácidos graxos insaturados benéficos à saúde. Apresenta melhor digestibilidade, alcalinidade, capacidade de armazenamento e certos valores terapêuticos (Haenlein & Caccese, 1984; Park & Chukwu, 1989; Park, 1994). A gordura é a fonte de energia mais importante no leite de cabra e sua concentração está em torno de 4,0% em média e os GGL possuem tamanho menor (3,5 µm) quando comparado ao das vacas (4,5 µm), o que facilita a digestibilidade do leite (Bruhu, 1992; Chadan et al., 1992; Knights & Garcia, 1997; Ceballos et al., 2009).

Segundo a FAO (1987), o tamanho médio dos GGL no leite caprino é de 2,5 a 3,5 microns, sendo que este menor tamanho facilita uma maior dispersão e uma distribuição mais homogênea da gordura. O leite de cabra apresenta uma maior percentagem de GGL pequenos, sendo que 28% dos glóbulos são menores do que 1,5 microns, enquanto no leite de vaca este valor é de 10% (Le Jaquen, 1981). De acordo com Martini et al. (2009) 90% dos GGL de cabra são menores que 5 µm. Este fato explica parcialmente a melhor digestibilidade por parte do leite de cabra quando comparado com o leite de vaca (Ribeiro & Ribeiro, 2001). O leite de cabra é facilmente digerível, pois o seu GGL é de tamanho pequeno como também pelo tipo de aminoácido presente em sua proteína (Arora et al., 2013). Meena et al. (2014), observaram que o tamanho dos GGL diminuiu na ordem de búfalo>vacas>cabra. Já a digestão da gordura do leite de cabra é significativamente maior que a digestão da gordura do leite de vaca e búfalo. Os autores também correlacionaram a digestibilidade com o tamanho dos GGL, mostrando que a digestibilidade foi inversamente proporcional ao tamanho do GGL, ou seja, quanto menor o tamanho do GGL mais rápido é a digestão lipídica.

O tamanho do GGL pode afetar as propriedades funcionais e nutricionais do leite, bem como a composição dos ácidos graxos (Lopez et al., 2008) além disso, afeta as propriedades tecnológicas e sensoriais e a qualidade nutricional dos produtos lácteos, pois o mesmo interfere no amadurecimento,

Tabela 1. Média de tamanho e porcentagem da quantidade dos GGL de diferentes espécies.

Espécie	Diâmetro (µ)	Número de glóbulos mL ⁻¹	Quantidade/Tamanho (%)			Referências
			P	M	G	
Bovino	3,21	-	-	-	-	King. (1957)
Bovino	3,51	1,46x10 ⁹	36,5	41,6	21,9	Martini et al (2017)
Bovino	3,51	-	-	-	-	Attaie & Richter. (2000)
Bovino	3,51	-	-	-	-	Argov-Argaman et al. (2014)
Bovino	3,56	-	-	-	-	Ménard et al (2010)
Bovino	3,60	1,50x10 ⁹	-	-	-	Mehaia et al. (1995)
Bovino	3,60	1,50x10 ⁹	-	-	-	Karray et al (2005)
Bovino	3,60	-	-	-	-	Mesilati-Staly et al (2015)
Bovino	3,82	-	-	-	-	Couvreur et al (2017)
Bovino	3,95	-	19,0	69,0	12,0	El-Zeini et el. (2006)
Bovino	4,28	-	-	-	-	Lopez et al. (2008)
Bovino	4,55	-	-	-	-	Park et al (2007)
Bovino	4,89	-	-	-	-	Yao et al. (2016)
Bovino	5,30	3,55x10 ⁹	-	-	-	Martini et al (2003)
Búfalo	5,00	-	-	-	-	Ménard et al. (2010)
Búfalo	8,70	-	-	45,4	54,6	El-Zeini et al (2006)
Caprino	2,50	1,68x10 ⁹	-	-	-	Martini et al. (2009)
Caprino	2,76	-	-	-	-	Attaie & Richter. (2000)
Caprino	3,07	-	-	-	-	Zamora et al. (2009)
Caprino	3,10	1,90x10 ⁹	-	-	-	Mehaia et al. (1995)
Caprino	3,19	-	52,3	25,4	22,3	El-Zeini et al. (2006)
Caprino	3,49	-	-	-	-	Park et al. (2007)
Caprino	3,63	-	-	-	-	Pisanu et al. (2013)
Caprino	3,64	-	-	-	-	Yao et al. (2016)
Ovino	2,96	2,09x10 ⁹	-	-	-	Martini et al. (2010)
Ovino	2,97	2,11x10 ⁹	-	-	-	Martini et al (2012)
Ovino	3,30	-	-	-	-	Park et al. (2007)
Ovino	3,78	-	15,7	79,9	4,40	El-Zeini et al. (2006)
Ovino	3,93	3,09x10 ⁹	-	-	-	Martini et al. (2004)
Ovino	4,97	2,49x10 ⁹	-	-	-	Martini et al. (2008a)
Ovino	5,09	0,93x10 ⁹	-	-	-	Salari et al. (2018)

suavidade e estrutura do queijo, bem como na estabilidade dos produtos lácteos, sendo de grande importância para as indústrias lácteas (El-Zeini et al., 2006; Lopez et al., 2011; Martini et al., 2016).

O tamanho do GGL está fortemente associado à sua composição lipídica, com maior conteúdo de fosfolipídios e esfingolipídios em glóbulos pequenos em relação aos glóbulos grandes (Argov-Argaman et al., 2012). Walstra (1969) relatou que os GGL com diâmetro inferior a 1µm representou 80% de todos os GGL, mas apenas com 5% de gordura do leite, enquanto que os GGL variando de 1 a 8 µm compreendia aproximadamente 94% de gordura. Os restantes de 1 a 2% do volume de gordura é proveniente dos GGL com diâmetro superior a 10 µm (Michalski et al., 2001) e são estabilizados pela MGGL. Não sabe se algumas gotículas menores foram segregadas ou se gotículas maiores foram quebradas durante ou após a secreção. No entanto, cada espécie de mamífero tende a acumular lipídios do leite em gotículas de um intervalo de tamanho relativamente estreito sugerindo que o tamanho é regulado (Keenan & Dylewski, 1995).

Espécie e Genética

O tamanho do GGL varia entre as espécies, Yoo et al. (2016) identificaram diferentes médias de diâmetros na qual o diâmetro médio do GGL no humano foi de 4,53 µm, no bovino foi de 4,89 µm e no caprino foi de 3,64 µm. Verificando o mesmo parâmetro El-Zeini, (2006) relatou em sua pesquisa que o diâmetro do GGL de bovino teve uma média de 3,95 µm, enquanto o leite caprino teve uma média de 3,19 µm. Attaie & Richter (2000) observaram que o diâmetro do GGL de bovino teve uma média de 3,51 µm e do leite caprino 2,79 µm. Assim

como a frequência também teve uma diferença significativa, o GGL do leite bovino variou de 0,92 à 15,75 µm e nos caprinos a variação foi de 0,73 à 8,58 µm.

Os fatores na fazenda podem ser responsáveis por algumas das variações nos GGL, mas variações inerentes aos animais também existem. Couvreur et al (2007) relataram que a variabilidade individual das vacas influenciou o tamanho do GGL mais do que a raça ou o estágio de lactação.

O tamanho do GGL é uma característica de hereditariedade mediana e, portanto, pode ser possível alterar o tamanho médio através da seleção. A avaliação genética dessa característica é limitada pelo tamanho do GGL, pois é difícil selecionar através do fenótipo (Fleming et al., 2017). Pisanu et al. (2013), observaram que o diâmetro do GGL variou entre a raça Sarda (nativa da Itália) e a raça Saanen. A distribuição de classe de diâmetro revelou que 72% dos GGL da raça Sarda mediram 2-3 µm, em comparação com apenas 37% da raça Saanen. Os GGL maiores na faixa de 10-20 µm de diâmetro representaram 7% em Saanen e apenas 0,6% no leite da Sarda.

Temperatura e tecnologias imposta

Processos como a homogeneização e a pasteurização podem afetar o tamanho e a estrutura dos GGL (Pisanu et al., 2013). O aquecimento do leite durante o processamento UHT foi sugerido para diminuir a proliferação de microrganismos, inativar a atividade enzimática adversa e assim prolongar a vida útil, porém também afeta as propriedades e a composição do leite. Entretanto, a homogeneização causa uma diminuição no tamanho médio do GGL e, portanto, resulta em um aumento correspondente na área da superfície lipídica,

levando à associação de proteínas do leite às superfícies recém formadas (Ong et al., 2010; Chavan et al., 2011). A homogeneização ultra-sônica tem o objetivo de reduzir o tamanho do GGL. O efeito mais significativo do tratamento ultra-sônico é o aumento da estabilidade e consistência da emulsão obtida. (Abismail et al., 1999; Karlovic et al., 2014).

Zou et al. (2015) observaram o efeito da temperatura na MGGL após o armazenamento a 4 °C e o reaquecimento à temperatura de 37°C. Relataram que os GGL se tornaram maiores e mais numerosos, quando a temperatura diminuiu para 4 °C, enquanto eles se tornaram menores quando a temperatura aumentou para 37°C. Nguyen et al. (2016) observaram que a temperatura e a refrigeração afetam o número, o tamanho e a morfologia dos GGL de búfala, em temperaturas baixas o diâmetro e maior do que nas altas temperaturas. Os GGL são submetidos à cinética térmica e mudanças de temperatura durante o armazenamento (4-7 °C), agitação de creme (10-12 °C) e tratamento térmico (temperatura acima de 60 °C, por exemplo, pasteurização).

El-Thakafy et al. (2017) relatam que uma maneira de melhorar a compreensão da morfologia e das propriedades dos domínios lipídicos da MGGL é mudar a temperatura. Alcançando temperaturas acima da temperatura de transição de fase dos lipídios polares saturados pode-se investigar diferentes comportamentos das amostras de leite. Comparar leite de várias espécies de mamíferos, por exemplo, búfala, cabra, ovelha, bovino, leite humano, também é uma forma de compreender a morfologia e a composição lipídica da MGGL.

Ao averiguar as MGGL *in natura* ou ultrapasteurizado (UHT) Lu et al. (2018) verificaram que o processamento UHT altera a estrutura do GGL em termos de tamanho e número e, conseqüentemente, altera a distribuição da MGGL, na qual, o tamanho dos glóbulos no leite UHT diminuiu e o número de glóbulos aumentou substancialmente.

Dieta

A nutrição é o fator predominante que afeta o GGL e representa uma ferramenta prática para alterar o rendimento e a composição de ácidos graxos da gordura do leite. A explicação do porquê de certas dietas causarem uma redução específica na produção da gordura do leite tem despertado interesse de produtores e cientistas há mais de 150 anos. No entanto, avanços recentes têm melhorado a nossa compreensão das inter-relações entre componentes alimentares, processos digestivos no rúmen e a regulação da síntese mamária da gordura do leite (Bauman et al., 2006).

Lopes et al. (2008) relataram em seu estudo a diferença da quantidade e do tamanho dos GGL. Foram utilizadas dietas distintas para um grupo de vacas, aquelas que se alimentavam de linhaça tinham o creme do leite com presença de GGL maiores em relação aos que se alimentavam com ensilagem de milho. As distribuições do tamanho dos GGL variaram de 1,2 a 11 µm e de 0,4 a 12 µm para o creme de vacas alimentadas com a dieta de ensilagem de milho e a dieta suplementada com linhaça, respectivamente. Martini et al. (2010) estudaram o efeito da relação volumoso:concentrado nas características morfológicas do GGL de ovelhas, observaram que a relação volumoso:concentrado de 60:40 ou 40:60 não apresentaram efeito significativo no diâmetro e na quantidade dos GGL. Mesilati-Stahy et al. (2015) usando duas proporções de volumoso:concentrado para vacas leiteira, observaram que as vacas que consumiram dieta com proporção maior de concentrado em relação ao volumoso (65:35) apresentaram GGL menor (0,4 µm) que o diâmetro dos GGL das vacas que consumiram dieta com relação volumoso:concentrado menor (35:65). Argov-Argaman et al. (2016) mostram que raças caprinas consumindo dietas diferentes (concentrado

e forragem), possuem GGL de tamanho diferenciados, os animais que estavam se alimentando com dieta a base de concentrado tem os GGL menores que os animais que se alimentavam a base de pastagem.

Avramis et al. (2003) observaram em vacas alimentadas com suplemento de proteína de farinha de peixe, que o GGL é menor em comparação com o grupo controle. Uma diminuição no tamanho do GGL também foi observada no leite de vacas recebendo dietas com pastagem e suplementação com concentrado de cereal em comparação com uma dieta de silagem de milho suplementada com farelo de soja (Couvreux et al., 2007). Graves et al. (2007) mostraram que a suplementação com 4% de óleo de soja não afetou a composição do leite e o GGL.

Estágio de lactação

Com o avanço da lactação a tendência é que haja um aumento no número dos GGL e a diminuição do diâmetro, prevalecendo à diminuição na porcentagem de glóbulos maiores e o aumento dos menores glóbulos. Além disso, há um aumento significativo no conteúdo da membrana após o 30º dia de lactação (Martini et al., 2013b). Lopez et al. (2008); Reinhardt & Lippolis, (2008) e Addis et al. (2011) observaram em suas pesquisas que a composição da MGGL modifica de acordo com o estágio de lactação, dieta ou estado sanitário das glândulas mamária. Martini et al. (2013a) estudaram as características dos GG do colostro e do leite de ovelhas da raça Massese durante as duas primeiras semanas de lactação. Observaram que o diâmetro do GG do colostro foi de 4,07 µm no dia zero (0) e de 3,24 µm no terceiro dia, ao passar dos dias o GGL diminuiu estando com 2,76 µm no 15º dia. Já a quantidade de GGL apresentou 2,88 n° mL⁻¹x10⁹ no dia zero e 2,88 n° mL⁻¹x10⁹ no 15º dia. Argov-Argaman et al. (2016) observaram que raças distintas (Mamber, Damasco, Mamber/ Alpina, Damasco/Alpina), com fase de lactação variando de 65-170 dias, produziram GGL maiores nos dias 135 e 170 da lactação quando alimentados com pastagem.

Estação do ano e altitude

Martini et al. (2008) estudaram o efeito da estação do ano e da altitude nas características de GGL em ovelhas da raça Massese e observaram que o número de GGL não diferiram estatisticamente, porém o diâmetro apresentou maior valor (5,27 µm) na primavera-verão e menor valor (4,85 µm) no outono-inverno. A altitude não apresentou efeito significativo para as características morfológicas dos GGL.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características morfológicas (diâmetro e quantidade) dos glóbulos de gordura do leite modificam-se de acordo com a espécie, raça, dieta, temperatura, estado fisiológico, entre outros. O diâmetro e a quantidade de glóbulos de gordura afetam a qualidade do leite, sendo assim podemos trabalhar sobre os fatores que influenciam as características morfológicas dos GGL e melhorar as propriedades nutricionais visando o consumidor final.

REFERÊNCIAS

Abismail, B., Canselier, J. P., Wilhelm, A. M. et al. Emulsification by ultrasound: drop size distribution and stability. *Ultrasonics Sonochemistry*, v.6, p.75-83, 1999.

- Addis, M. F., Pisanu, S., Ghisaura, S. et al. Proteomics and pathway analyses of the milk fat globule in sheep naturally infected by *Mycoplasma agalactiae* provide indications of the in vivo response of the mammary epithelium to bacterial infection. *Infection and Immunity*, v.79, p.3833-3845, 2011.
- Arora, R., Bhojak, N., Joshi, R. Comparative Aspects of Goat and Cow Milk. *International Journal of Engineering Science Invention*, v.2, p. 07-10, 2013.
- Argov-Argaman, N., Mbogori, T., Sabastian, C. et al. Hyperinsulinemic clamp modulates milk fat globule lipid composition in goats. *Journal of Dairy Science*, v.95, p.5776-5787, 2012.
- Argov-Argaman, N., Smilowitz, J. T., Bricarello, D. A. et al. Lactosomes: Structural and Compositional Classification of Unique Nanometer-Sized Protein Lipid Particles of Human Milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.58, p. 11234-11242, 2010.
- Argov-Argaman, N., Hadaya, O., Glasser, T. et al. Milk fat globule size, phospholipid contents and composition of Milk from purebred and Alpine-crossbred Mid-Eastern goats under confinement or grazing condition. *International Dairy Journal*, v.1, p.1-7, 2016.
- Attaie, R., Richter, R. L. Size Distribution of Fat Globules in Goat Milk. *Journal of Dairy Science*, v.83, p.940-944, 2000.
- Avramis, C. A., Wang, H., McBride, B. W. et al. Physical and Processing Properties of Milk, Butter, and Cheddar Cheese from Cows Fed Supplemental Fish Meal. *Journal of Dairy Science*, v.86, p. 2568-2576, 2003.
- Bauman, D. E., Mather, H., Wall, R. J. et al. Major advances associated with the biosynthesis of milk. *Journal of Dairy Science*, v. 89, p. 1235-1243, 2006.
- Bhinder, G., Allaire, J. M., Garcia, C. et al. Milk Fat Globule Membrane Supplementation in Formula Modulates the Neonatal Gut Microbiome and Normalizes Intestinal Development. *Scientific Reports*, v.1, p.1-15, 2017.
- Bruhn, C. M., Cotter, A., Diaz-Knauf, K. et al. Consumer attitudes and market potential of dairy products utilizing fat substitutes. *Journal of Dairy Science*, v. 75, p. 2569-2577, 1992.
- Carroll, S. M., Depeters, E. J., Taylor, S. J. et al. Milk composition of Holstein, Jersey, and Brown Swiss cows in response to increasing levels of dietary fat. *Animal Feed Science and Technology*, v. 131, p. 451-473, 2006.
- Ceballos, L. S., Morales, E. R., Adarve, De La T. et al. Composition of goat and cow milk produced under similar conditions and analyzed by identical methodology. *Journal Food Composition and Analysis*, v. 22, p. 322-329, 2009.
- Chandan, R. C., Attaie, R. Shahani, K. M. Nutritional aspects of goat milk and its products. *Proc. V. Intl. Conf. on Goats*. New Delhi, India. V. 2, p.399-420, 1992.
- Chavan, R. S., Chavan, S. R., Khedkar, C. D. et al. UHT milk processing and effect of plasmin activity on shelf life: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v.10, p.251-268, 2011.
- Couvreur, S., Hurtaud, C., Marnet, P. G. et al. Composition of Milk Fat from Cows Selected for Milk Fat Globule Size and Offered Either Fresh Pasture or a Corn Silage-Based Diet. *Journal of Dairy Science*, v. 90, p.392-403, 2007.
- Deeney, J. T., Valivullah, H. M., Dapper, C. H. et al. Microlipid droplets in milk secreting mammary epithelial cells: Evidence that they originate from endoplasmic reticulum and are precursor of milk lipid globules. *European Journal of Cell Biology*, v. 38, p.16-26, 1985.
- Dewettinck, K., Rombaut, R., Thienpont, N. et al. Nutritional and technological aspects of milk fat globule membrane material. *International Dairy Journal*, v. 18, p. 436-457, 2008.
- Et-Thakafy, O., Guyomarc'h, F., Lopes, C. Lipid domains in the milk fat globule membrane: Dynamics investigated in situ in milk in relation to temperature and time. *Food Chemistry*, v. 220, p.352-361, 2017.
- El-Zeini, H. M. Microstructure, rheological and geometrical properties of fat globules of milk from different animal species. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, v. 15/56, p.147-154, 2006.
- Evers, J. M. The milk fat globule membrane - compositional and structural changes post secretion by the mammary secretory cell. *International of Dairy Journal*, v. 14, p. 661-674, 2004.
- Fleming, A., Schenkel, F. S., Koeck, A. et al. Heritabilities of measured and mid-infrared predicted milk fat globule size, milk fat and protein percentages, and their genetic correlations. *Journal of Dairy Science*, v.100, p. 1-7, 2017.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Milk fat crystallization in natural milk fat globules, 1987.
- Fong, B. Y., Norris, C. S., Macgibbon, A. K. H. Protein and lipid composition of bovine milk-fatglobule membrane. *International of Dairy Journal*, v.17, p. 275-288, 2007.
- German, J. B. Dietary lipids from an evolutionary perspective: sources, structures and functions. *Maternal & Child Nutrition*. v. 7, p. 2-16, 2011.
- German, J. B., Dillard, C. J. Composition, Structure and Absorption of Milk Lipids: A Source of Energy, Fat-Soluble Nutrients and Bioactive Molecules. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 46, p.57-92, 2006.
- Graves, E. L. V., Beaulieu, A. D., Drackley, J. K. Factors Affecting the Concentration of Sphingomyelin in Bovine Milk. *Journal of Dairy Science*, v. 90, p.706-715, 2007.
- Haenlein, G. F. W., Caccese, R. Goat milk versus cow milk. *Extension Goat Handbook*, v. 1, p.1-4, 1984.
- Haramizu, S., Ota, N., Otsuka, A. et al. Dietary milk fat globule membrane improves endurance capacity in mice. *American Journal Physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, v. 307, p.1009-1017, 2014.
- Heid, H. W., Keenan, T. W. Intracellular origin and secretion of milk fat globules. *European Journal of Cell Biology*, v. 84, p. 245-258, 2005.
- Hernell, O., Niklas, T., Magnus, D. et al. Clinical benefits of milk fat globule membranes for infants and children. *The Journal of Pediatrics*, v. 178, p. 60-65, 2016.
- Holmes, C. W., Brookes, I.M., Garrick, D. J. et al. *Milk Production from Pasture*. Massey University, Palmerston North, New Zealand, 2003.
- Jensen, R. G., Ferris, A. N., Lammi-Keefe, C. J. The Composition of Milk Fat. *Journal of Dairy Science*, v. 74, p. 3228-3243, 1991.
- Karlovic, S., Bosiljkov, T., Brncic, M. et al. Reducing fat globules particle-size in goat milk: ultrasound and high hydrostatic pressures approach. *Chemistry Biochemistry Engineering*, v. 8, p. 499-507, 2014.
- Keenan, T. W., Dylewski, D. P. Intracellular origin of milk lipid globules and the nature and structure of the milk lipid globule membrane. *Advanced Dairy Chemistry*, v. 2, p. 89-130, 1995.
- Keenan, T. W., Mather, I. H. Intracellular Origin of Milk Fat Globules and the Nature of the Milk Fat Globule Membrane. *Advanced Dairy Chemistry*, v. 2, p. 137-171, 2006.
- Knights, M., Garcia, G.W. The status and characteristics of the goat (*Capra hircus*) and its potential role as a significant milk producer in the tropics: A Review. *Small Ruminant Research*, v. 26, p. 203-215, 1997.
- Le Jaquen, J. C. Milking and the technology of milk and milk products. In: GALL, C. (Ed.). *Goat production*. London: Academic Press, p. 345-77, 1981.
- Leewenhoek. More microscopical observations. *Philos. Transact.* v. 9, p. 23-24, 1974
- Lindqvist, B., Roos, T., Fujita, H. Auto-Analyzer determination of free fatty acids in farm milk. Modification of present method to simplify transportation of the sample. *Milchwissenschaft* v. 30, p. 12-17, 1975
- Lemay, D. G., Lynn, D. J., Martin, W. et al. The bovine lactation genome: insights into the evolution of mammalian milk. *Genome Biology*, v.10, p. 43-61, 2009.

- Lopez, C., Briard-Bion, V., Menard, O. et al. Phospholipid, sphingolipid, and fatty acid compositions of the milk fat globule membrane are modified by diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.56, p. 5226-5236, 2008.
- Lopez, C. Milk fat globules enveloped by their biological membrane: Unique colloidal assemblies with a specific composition and structure. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, v. 16, p. 391-404, 2011.
- Lu, J., Pickova, J., Vázquez-Gutiérrez, J. L. et al. Influence of seasonal variation and ultra high temperature processing on lipid profile and fat globule structure of Swedish cow Milk. *Food Chemistry*, v. 239, p. 848-857, 2018.
- Mana, P., Goodyear, M., Bernard, C. et al. Tolerance induction by molecular mimicry: prevention and suppression of experimental autoimmune encephalomyelitis with the milk protein butyrophilin. *International Immunology*, v.16, p. 489-99, 2004.
- Martini, M., Cecchi, F., Scolozzi, C. et al. Milk fat globules in different dairy cattle breeds Part I: morphometric analysis. *Italian Journal of Animal Science*, v. 2, p. 272-274, 2003.
- Martini, M., Scolozzi, C., Cecchi, F. et al. Morphometric analysis of fat globules in ewe's milk and correlation with qualitative parameters. *Italian Journal of Animal Science*, v. 3, p. 55- 60, 2004.
- Martini, M., Mele, M., Scolozzi, C. et al. Cheese making aptitude and the chemical and nutritional characteristics of milk from Massese ewes. *Italian Journal of Animal Science*, v. 7, p. 419- 437, 2008.
- Martini, M., Salari, F., Scolozzi, C. Goat's milk: morphometric characteristics of fat globules. *Scienza e Tecnica Lattiero-Casearia*, v. 60, p. 31-35, 2009.
- Martini, M., Liponi, G. B., Salari, F. Effect of forage: concentrate ratio on the quality of ewe's milk, especially on milk fat globules characteristics and fatty acids composition. *Journal Dairy Research*, v. 77, p. 239-244, 2010.
- Martini, M., Altomonte, I., Pesì, R., Tozzi, M. G., Salari, F. Fat globule membranes in ewes' milk: the main enzyme activities during lactation. *International of Dairy Journal*, v. 28, p. 36-39, 2013a.
- Martini, M., Altomonte, I., Salari, F. Evaluation of the fatty acid profile from the core and membrane of fat globules in ewe's milk during lactation. *Food Science and Technology*, v.50, p. 253-258, 2013b.
- Martini, M., Salari, F., Altomonte, I. The macrostructure of milk lipids: The fat globules. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.56, p.1209-1221, 2016.
- Mather, I. H., Keenan, T. W. Origin and secretion of milk lipids. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, v.3, p. 259-273, 1998.
- Mcmanaman, J. L., Russell, T. D., Schaack, J. et al. Molecular determinants of milk lipid secretion. *Journal Mammary Gland Biology Neoplasia*, v. 12, p. 259-268, 2007.
- Mehaia, M. A. The fat globule size distribution in camel, goat, ewe and cow milk. *Milchwissenschaft*, v. 50, p. 260-263, 1995.
- Meena, S., Rajput, Y. S., Sharma, R. Comparative fat digestibility of goat, camel, cow and buffalo Milk. *International Dairy Journal*, v.35, p.153-156, 2014.
- Ménard, O., Ahmad, S., Rousseau, F. et al. Buffalo vs cow milk fat globules: Size distribution, zeta-potential, compositions in total fatty acids and in polar lipids from the milk fat globule membrane. *Food Chemistry*, v.120, p. 544-551, 2010.
- Mesilati-Stahy, R., Moallem, U., Magen, Y. et al. Altered concentrate to forage ratio in cows ration enhanced bioproduction of specific size subpopulation of milk fat globules. *Food Chemistry*, v.179, p. 199-205, 2015.
- Michalski, M. C., Briard, V., Miche, F. Optical parameters of milk fat globules for laser light scattering measurements. *Le lait*, v. 81, p. 786-796, 2001.
- Michalski, M. C., Cariou, R., Michel, F. et al. Native vs. Damaged Milk Fat Globules: Membrane Properties Affect the Viscoelasticity of Milk Gels. *Journal Dairy Science*, v. 85, p. 2451-2461, 2002.
- Mulder, H., Walstra, P. The milk fat globule. Emulsion science as applied to milk products and comparable foods. *Molecular Nutrition & Food Research*, v. 19, p. 380-381, 1975.
- Ngyen, H. T. H., Madec, M. N., Ong, L. et al. The dynamics of the biological membrane surrounding the buffalo milk fat globule investigated as a function of temperature. *Food Chemistry*, v. 204, p. 343-351, 2016.
- Ollivier-Bousquet, M. Milk lipid and protein traffic in mammary epithelial cells: joint and independent pathways. *Reproduction Nutrition Development*, v. 42, p. 149-162, 2002.
- Ong, L., Dagastine, R. R., Kentish, S. E., Gras, S. L. The effect of milk processing on the microstructure of the milk fat globule and rennet induced gel observed using confocal laser scanning microscopy. *Journal of Food Science*, v. 75, p. 135-145, 2010.
- Park, Y. W. Hypo-allergenic and therapeutic significance of goat milk. *Small Ruminant Research*, v. 14, p. 151-159, 1994.
- Park, Y. W., Chukwu, H. I. Trace Mineral Concentrations in Goat Milk from French-Alpine and Anglo-Nubian Breeds during the First 5 Months of Lactation. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 2, p. 161- 169, 1989.
- Park, Y. W., Juárez, M., Ramos, M., Haenlein, G. F. W. Physico-chemical characteristics of goat and sheep Milk. *Small Ruminant Research*, v. 68, p. 88-113, 2007.
- Pisanu, S., Marogna, G., Pagnozzi, D. et al. Characterization of size and composition of milk fat globules from Sarda and Saanen dairy goats. *Small Ruminant Research*, v.109, p.141-151, 2013.
- Reinhardt, T. A., Lippolis, J. D. Developmental changes in the milk fat globule membrane proteome during the transition from colostrum to milk. *Journal of Dairy Science*, v. 91, p. 2307-2318, 2008.
- Ribeiro, E. L. A., Ribeiro, H. J. J. S. Uso nutricional e terapêutico do leite de cabra. *Semina: Ciências Agrárias*, v.22, p.229-235, 2001.
- Salari, F., Altomonte, i., D' Aurea, M., Martini, M. Milk quality of Assaf ewes raised in Central Italy (Tuscany). *Large Animal Review*, v. 24, p. 37-40, 2018
- Schnabl, K. L., Van Aerde, J. E., Thomson, A. B. Clandinin, M. T. Necrotizing enterocolitis: a multifactorial disease with no cure. *World Journal Gastroenterol*, v.14, p. 2142-2161, 2008.
- Scolozzi, C., Martini, M., Abramo, F. A method for identification and characterization of ewe's milk fat globules. *Milchwissenschaft*, v. 58, p. 490-493, 2003.
- Singh, H., Gallier, S. Nature's complex emulsion: The fat globules of Milk. *Food Hydrocolloids*, v.68, p. 81-89, 2017.
- Smolenski, G., Haines, S., Kwan, F. Y. et al. Characterisation of host defence proteins in milk using a proteomic approach. *Journal of Proteome Research*, v.6, p. 207-215, 2007.
- Timmen, H., Patton, S. Milk fat globules: Fatty acid composition, size and in vivo regulation of fat liquidity. *Lipids*, v. 23, p. 685-689, 1988.
- Walstra, P. Physical chemistry of milk fat globules. In: *Advanced Dairy Chemistry*. Vol. 2, 3 ed., *Lipids*, p. 131-178, 1995.
- Walstra, P. Studies on milk fat dispersion. The globule size distribution of cow's milk. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, v. 28, p. 3-9, 1969.
- Wiking, L., Bjorck, L., Nielsen, J. H. Influence of feed composition on stability of fat globules during pumping of raw milk. *International Dairy Journal*, v. 13, p.797-803, 2003
- Wooding, F. B., Mather, I. H. Ultrastructural and immunocytochemical evidence for the reorganisation of the milk fat globule membrane after secretion. *Cell Tissue Research*, v.367, p. 283-295, 2017.
- Yoo, Y., Zhao, G., Yand, Y. et al. Milk fat globules by confocal Raman microscopy: Differences in human, bovine and caprine Milk. *Food Research International*, v. 80, p. 61-69, 2016.
- Zamora, A., Guamis, B., Trujillo, A. J. Protein composition of caprine milk fat globule membrane. *Small Ruminant Research*, v. 82, p. 122-129, 2009.
- Zou, X., Guo, Z., Jin, Q. et al. Composition and microstructure of colostrum and mature bovine milk fat globule membrane. *Food Chemistry*, v. 185, p. 362-370, 2015.

