



Abordagem multidisciplinar de P,D&I para o desenvolvimento de produto lácteo caprino com alto teor de CLA e alegação de propriedade funcional

Marco Aurélio Delmondes Bomfim¹, Rita de Cássia do Egípto Queiroga², Márcia Barbosa Aguilã³, Maria do Carmo Medeiros⁴, Mauro Fisberg⁵, Marcelo Teixeira Rodrigues⁶, Karina Maria Olbrich dos Santos¹, Dante Pazzanese Duarte Lanna⁷

¹ Embrapa Caprinos e Ovinos.

² Universidade Federal da Paraíba.

³ Universidade Estadual do Rio de Janeiro.

⁴ Universidade Federal de Pernambuco.

⁵ Universidade Federal de São Paulo.

⁶ Universidade Federal de Viçosa.

⁷ Universidade de São Paulo/ESALQ.

RESUMO - O desafio de ampliação do mercado do leite de cabra tem estimulado ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação para desenvolvimento de alimentos diferenciados. Uma das alternativas é a produção de lácteos com alto teor de ácido linoleico conjugado (CLA) e alegação funcional. O presente trabalho sintetiza os achados de pesquisa em rede, envolvendo uma equipe multidisciplinar de pesquisadores com o objetivo de desenvolver bases para a produção de alimento lácteo caprino com alto teor em CLA e alegação funcional. Os resultados obtidos indicam que a suplementação da dieta com óleo de soja, tem sido a melhor estratégia para a obtenção de um leite com alto teor de CLA, sem prejuízos à produção animal. Este teor de CLA permanece inalterado quando o leite é pasteurizado, bem como durante 35 dias de maturação de queijo tipo coalho, não sendo observada qualquer alteração nos parâmetros sensoriais. Ensaios com crianças pré-escolares demonstraram aceitação do leite de cabra (com baixo e alto teor de CLA) semelhante ao leite de vaca, além de maior massa corporal, concentração de hemoglobina e número de hemácias no sangue com o consumo de leite de cabra. Ratos lactentes filhos de fêmeas que receberam CLA durante a gestação e aleitamento anteciparam sua maturação somática e reflexa. Contudo, em outro experimento, ratos desmamados consumindo gordura com alto teor em CLA apresentaram elevação na insulina sérica e na resistência à insulina, responsável, provavelmente, por um quadro de estase hepática. Estes achados indicam que alimentos funcionais baseados em gordura com alto teor de CLA podem ser mais apropriados para a suplementação da dieta de lactentes e que há necessidade de mais pesquisa para entender a influência do CLA sobre o metabolismo de carboidratos em indivíduos mais velhos.

Palavras-chave: ácido graxo, ácido linoleico conjugado, alimento funcional, gordura, leite de cabra

Multidisciplinary approach to R, D & I for the development of dairy goat products with high content of CLA and functional property claim

ABSTRACT - The challenge to increase market for goat's milk has encouraged actions of research, development and innovation for added-value foods development. One of alternatives is rich-CLA dairy products with functional claim. This paper synthesizes findings of a multidisciplinary research network, aiming the development of a CLA-rich goat's milk functional food. The results showed that soybean oil supplementation is a better strategy to obtain CLA-rich milk without negatives impacts on animal production. That level of CLA stays unchanged after pasteurization as well as during 35 days of cheese ripening. In addition, there was observed any changes on sensorial proprieties. Trials with children (2 to 4 years old), showed similar consumption when compared goat's and cow's milk. Moreover, children receiving goat's milk showed higher body weight, hemoglobin and erythrocytes blood levels. Infants rats suckling females receiving CLA during pregnancy and lactation showed earlier maturation of somatic and ontogeny reflexes. However, another trial using weaned rats showed higher blood insulin and insulin resistance, resulting in a hepatic steatosis. These findings suggest that dairy functional foods based on CLA-rich fat may be more suitable for younger children and the influence of CLA on carbohydrates metabolism in older ones should be better investigated.

Key Words: conjugated linoleic acid, fat, fatty acid, functional food, goat milk

Introdução

A produção de leite de cabra no Brasil está concentrada principalmente em duas regiões, a Nordeste e a Sudeste, onde os sistemas agroindustriais diferem marcadamente. No Nordeste a produção é baseada em animais criados em pasto nativo com suplementação, e o processamento do leite (pasteurização e empacotamento) ocorre em pequenos laticínios que fornecem leite fluido para o mercado institucional, principalmente para o programa Fome Zero. No Sudeste, por outro lado, o sistema de produção é intensivo, com animais especializados, e a produção segue, de forma majoritária, para uma grande empresa âncora que processa e distribui na forma de leite fluido ou em pó em todo o Brasil, principalmente por meio dos supermercados, embora haja diversos caprinocultores produzindo queijo e outros produtos derivados em pequena escala.

Apesar de diferentes no arranjo, ambos compartilham do mesmo desafio para crescimento e consolidação — ampliar o mercado consumidor para o leite de cabra. Se no Nordeste são as cotas do mercado institucional, no Sudeste é o próprio mercado nacional que parece ter alcançado o limite de consumo de leite na forma fluida ou em pó. Apesar do crescimento da oferta de produtos derivados como queijos e iogurtes, ainda há necessidade de mais esforço de pesquisa, desenvolvimento e inovação no sentido de diferenciar e agregar valor ao leite caprino, ampliando suas possibilidades de mercado.

A necessidade de agregação de valor fica mais evidente quando se observam o preço final deste produto para o mercado e a memória gustativa do brasileiro, que não tem o hábito de consumo destes produtos. As características da produção de leite caprino — pequeno volume produzido e dispersão das propriedades — encarecem o custo de produção e transporte, retirando os produtos lácteos caprinos da categoria de produtos populares e exigindo mais diferenciação para oferecer ao consumidor a sensação de custo compensador. Cordeiro & Cordeiro (2009), compilando informações da literatura e do mercado brasileiro, demonstraram que em vários países os produtos lácteos caprinos são em média 50% mais caros que o de bovinos e que no Brasil esta diferença chega a 220%.

Segundo Haenlein (2004), a demanda por leite de cabra cresce em função de três aspectos. Os caprinos, mais que outros mamíferos, são fonte de carne e leite para população de áreas rurais, representando, em certas regiões, parte importante do consumo doméstico de proteína e sua demanda, nestas regiões, acompanha o próprio crescimento populacional. Outro aspecto é o interesse de conhecedores e especialistas por produtos como queijos e iogurtes,

principalmente em países desenvolvidos, cuja demanda está relacionada à renda. O terceiro aspecto deriva da preocupação das pessoas com a saúde e a crescente procura por alimentos nutritivos, saudáveis e funcionais. Este último aspecto apresenta uma perspectiva de demanda crescente em função da preocupação cada vez maior com a alimentação e saúde humana.

Pesquisa feita pela Embrapa Caprinos e Ovinos no município de Sobral-CE demonstrou que, entre os consumidores de leite caprino, a principal motivação (33,33%) foi o reconhecimento de alto valor nutritivo e associação com saúde. Entre os consumidores de derivados lácteos, depois de características sensoriais, a associação entre a nutrição e saúde também foi o principal fator motivador, corroborando outra pesquisa feita pelo SEBRAE no município de Fortaleza-CE (Martins et al., 2007).

Estas observações, somadas à crescente idade média da população brasileira, têm impulsionado as pesquisas relacionando alimentos e saúde, levando à prospecção de uma nova classe de produtos, os chamados alimentos funcionais (Bomfim, 2010).

No Brasil, a definição deste grupo foi feita pela na portaria nº 398 de 30/04/1999 da Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA), órgão responsável pela regulamentação destes alimentos. Nesta portaria, alimento funcional é todo aquele alimento ou ingrediente que, além das funções nutricionais básicas, quando consumido como parte da dieta usual, produz efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e/ou efeitos benéficos à saúde, devendo ser seguro para consumo sem supervisão médica.

O principal enfoque do mercado para produtos de origem animal tem sido direcionado para a busca de alimentos com menores teores de gordura e com perfil de ácidos graxos que os caracterize como alimento funcional (Bomfim et al., 2008). As tentativas de modificação na gordura do leite de ruminantes do ponto de vista de alegação de propriedades funcionais têm objetivado a redução da taxa de ácidos graxos saturados:insaturados, o aumento no nível de ácidos graxos poliinsaturados do grupo ômega-3 e o aumento no conteúdo de ácido linoleico conjugado (CLA) (Hillbrick & Augustin, 2002).

A gordura do leite de cabra, assim como a de vaca, não é uma boa fonte de ácidos graxos do grupo ômega-3 ou ômega-6, cujos valores são tão baixos quanto 0,86 e 1,88% do total de ácidos graxos, respectivamente (Bomfim et al., 2006). Portanto, a elevação do CLA é a opção mais interessante para o leite e derivados de ruminantes, não só pelas inúmeras evidências de funcionalidade, relacionadas à propriedades anticarcinogênica, antioxidante, fator de crescimento, lipólise e/ou redução da lipogênese,

especialmente no tecido adiposo abdominal, e aumento da resposta imune (Parodi, 1997; Parodi, 2003; Nicolosi et al., 1993; Cook et al., 1993; Chin et al., 1994; Mourão et al., 2005), mas também pela singularidade da sua presença na gordura de ruminantes, uma vez que a síntese natural desta molécula tem como origem a fermentação ruminal a partir dos lipídios dietéticos.

Embora a nutrição de ruminantes seja o ponto de partida para a produção de lácteos ricos em CLA, o desenvolvimento de um produto com esta alegação envolve uma equipe multidisciplinar de pesquisadores, além da participação do setor produtivo, uma vez que a gordura está relacionada com produção, firmeza, cor e *flavor* do leite e dos produtos lácteos e que o processamento pode afetar o perfil lipídico original do leite (Mesquita et al., 2004; Chilliard et al., 2003). Por outro lado, a simples presença do CLA em concentrações maiores que as obtidas no leite não garante os efeitos observados em animais experimentais, na maioria das vezes, obtidos com CLA sintético, exigindo avaliações de comprovação de funcionalidade em humanos ou modelos animais.

O presente trabalho sintetiza sete anos de pesquisa em rede, envolvendo pesquisadores das áreas de nutrição de ruminantes, ciência e tecnologia de alimentos, nutrição humana e biomedicina de várias instituições com o objetivo de desenvolver estratégias para produção de alimento lácteo caprino com alto teor em CLA e com alegação funcional. A maioria dos resultados discutidos neste artigo ainda está em processo de publicação e, portanto, terão seus dados originais preservados.

Produção de leite de cabra com alto teor de CLA na gordura

O ácido linoleico conjugado (CLA) é formado como um intermediário da biohidrogenação ruminal principalmente do ácido linoleico (C18:2), principal ácido graxo precursor da síntese de *cis*-9, *trans*-11-CLA, por meio da ação do *Butyrivibrio fibrisolvens* (Kepler & Tove, 1967). Sabe-se hoje, porém, que a maior parte do CLA encontrado na gordura do leite é resultado da ação da enzima Δ -9 desaturase, presente no intestino e na glândula mamária, que atua sobre outro intermediário da biohidrogenação ruminal (ácido graxo vacênico - C18:1 *trans*-11), formando então o principal isômero do CLA, o C18:2 *cis*-9, *trans*-11 (Bauman et al., 2006).

Portanto, estratégias de manipulação da gordura láctea para maior concentração de CLA devem considerar os aspectos fisiológicos da biohidrogenação e da atividade da Δ -9 desaturase. Como não há comprovadamente limitação

na atividade da enzima, o desafio está em aumentar a síntese ruminal de CLA e de seu precursor nos tecidos, o ácido vacênico.

Base teórica da manipulação do teor de CLA na gordura do leite: funil dos C18

Para entender as estratégias de manipulação, o processo de biohidrogenação ruminal pode ser comparado a um funil poroso por onde todos os ácidos graxos insaturados de 18 carbonos que entram no rúmen são convertidos e fluem do funil como ácido graxo esteárico (C18:0).

Durante a passagem pelo funil, estas moléculas sofrem reações de isomerização e hidrogenação, produzindo diferentes intermediários até serem convertidas finalmente em ácido esteárico. O colo do funil simboliza a limitação de taxa que as enzimas responsáveis por este processo apresentam (*rate-limiting enzymes*). Isto significa que o fluxo metabólico de toda a rota é determinado por estas reações limitadas pela quantidade de substrato. Por outro lado, a porosidade no corpo do funil indica que alguns ácidos graxos C18 insaturados ou seus intermediários podem “escapar” da biohidrogenação sem alteração estrutural. Entre estes intermediários estão o CLA e o ácido vacênico. Assim, as estratégias são desenhadas para interferir no processo de biohidrogenação de modo a aumentar o escape de intermediários antes que a conversão a ácido esteárico seja completada.

A principal estratégia de elevação de CLA na gordura do leite de ruminantes está alicerçada na saturação do sistema enzimático com o aumento na quantidade de substrato entrando no funil (ácidos graxos precursores, especialmente C18:2) por meio da suplementação da dieta com óleos vegetais ou alimentos ricos nestes ácidos graxos insaturados. Esta saturação resulta em um acúmulo de intermediários (dentre os quais o CLA e ácido vacênico) que fluirão em maior quantidade pelos poros do funil e estarão disponíveis para absorção e metabolismo até sua excreção na gordura láctea.

Existem outras estratégias relacionadas ao uso de compostos ou moléculas que atuam inibindo ou exacerbando a ação microbiana ou a atividade enzimática associada à biohidrogenação, fazendo com que, da mesma forma, acumule intermediários aumentando o afluxo através dos poros do funil. Dentre estas possibilidades estão a redução do pH ruminal, o uso de taninos e outros modificadores da fermentação como ionóforos, além de vitaminas e minerais. Além destas estratégias utilizadas de forma isolada, a associação entre elas também tem sido utilizada como o *blend* de óleos vegetais e associação de óleos e moduladores da fermentação ruminal.

Estratégias para elevação do teor de CLA da gordura do leite de cabra

Desde o início dos trabalhos do grupo, uma série de experimentos em nutrição de caprinos leiteiros na Embrapa Caprinos e Ovinos e na Universidade Federal de Viçosa foi realizada com o objetivo de testar diferentes estratégias para produção de leite de cabra com alto teor de CLA.

A primeira hipótese testada foi que a redução do pH ruminal, por meio de dietas com baixo conteúdo de fibra, potencializaria o efeito de dietas com alta concentração de óleo, resultando em elevação do CLA. Esta hipótese se baseou em evidências da literatura de que as enzimas envolvidas na biohidrogenação são pH sensíveis, o que reduziria ainda mais o fluxo no funil de C18 e, portanto, geraria mais intermediários que fluiriam pelos poros, aumentando a secreção de CLA no leite. Além desta, foi testada a hipótese de que, alterando o perfil do óleo, o impacto sobre a composição em CLA seria também diferente. As fontes de óleo avaliadas foram: soja (rico em C18:2), palmiste (rico em C12:0) e peixe (rico em poliinsaturados), na concentração fixa de 2,53% da dieta, totalizando 5% de extrato etéreo, em uma dieta com teor de fibra oriunda de forragem de 25%.

Uma vez que o uso de lipídios de origem animal na alimentação de ruminantes foi proibido no Brasil, os dados referentes ao efeito do óleo de peixe não serão comentados. Os resultados demonstraram aumento no teor de ácido linoleico conjugado (CLA) com a suplementação das dietas com óleo de soja e de palmiste em relação à dieta controle, não havendo diferença entre estas duas fontes de óleo. Dentre os isômeros, mais de 80% foi o C18:2 cis 9 trans 11. Este aumento, em termos percentuais médios, foi de 300% (Bomfim et al., 2006).

Os resultados observados nos animais consumindo dietas com óleo de soja estiveram dentro do esperado, mas os resultados com o palmiste superaram as expectativas, uma vez que o conteúdo de ácido linoleico (C18:2) desta fonte é muito baixo (1% do total de ácidos graxos). A primeira hipótese para explicar este aumento foi a isomerização do ácido oleico (C18:1), que representou cerca de 15% dos ácidos graxos do óleo de palmiste, a ácido vacênico, que poderia escapar da fermentação ruminal e gerar CLA por efeito da enzima Δ -9 desaturase. No entanto, ensaios de compartimentalização da digestão (Matos, 2008) demonstraram que os ácidos graxos C18:2 destas dietas estavam sendo convertidos no rúmen em CLA e intermediários com mais eficiência que nas outras dietas, suscitando que a presença do óleo de palmiste teria um

efeito parecido com o observado para óleo de peixe como modulador da biohidrogenação (AbuGhazaleh et al., 2007).

Não houve efeito da inclusão dos óleos sobre o teor de gordura do leite, uma característica que difere caprinos de bovinos quando se trata de suplementação com lipídios, uma vez que é muito freqüente depressão no teor de gordura do leite de vacas sob suplementação com óleo na dieta. No entanto, foi observado baixo teor de gordura do leite em todos os tratamentos (incluindo o controle), em função do baixo teor de fibra das dietas (Bomfim et al., 2006). O baixo teor de gordura do leite (2,2%) e a obtenção de valores de CLA próximos aos observados na literatura sem o uso de dietas com baixa fibra foram decisivos para retirar a estratégia de reduzir o pH ruminal, como possibilidade promissora para produção de leite com alto teor de CLA na gordura.

Por outro lado, este efeito do óleo de palmiste gerou nova hipótese a ser testada: o fluxo de CLA e de ácido vacênico pelos poros do funil em dietas com alto teor de óleo aumenta na presença de óleo de palmiste, ou seja, a associação desta fonte de óleo com outras ricas em precursores (C18:2 e C18:3) aumentaria o teor de CLA na gordura do leite em relação à dieta com as fontes de óleo isoladamente.

Para testar esta hipótese, outro ensaio experimental foi realizado, onde o óleo de palmiste foi associado a duas outras fontes: óleo de soja (fonte de C18:2) e óleo de girassol (fonte de C18:3). Os tratamentos foram: óleo de soja (3,75% na MS), óleo de girassol (3,75% na MS) e óleo de soja:óleo de palmiste (3:1 de proporção e 3,75% na MS), óleo de girassol:óleo de palmiste (3:1 de proporção e 3,75% na MS), totalizando em todos os tratamentos 6% de EE na MS da dieta, corrigindo-se o teor de FDN para 30% da MS.

Os resultados rejeitaram a hipótese de sinergia na síntese de CLA com a associação de óleo de palmiste às dietas, uma vez que a concentração de CLA na gordura do leite dos animais consumindo os óleos isoladamente não diferiu entre si e foi 30% superior às misturas com óleo de palmiste. Destes resultados inferiu-se que o efeito do óleo de palmiste poderia estar associado à redução do pH ruminal, que foi associada à depressão da síntese de gordura do leite e, portanto, não foi considerada uma alternativa promissora.

Estes resultados, associados ao menor custo do óleo de soja, indicam que a suplementação da dieta com esta fonte é a estratégia mais consistente para produzir leite de cabra de gordura com alto teor de CLA. É importante pontuar que nenhum dos tratamentos avaliados influenciou de forma significativa o consumo ou a digestibilidade dos

nutrientes nos experimentos avaliados.

Impactos da gordura rica em CLA sobre a qualidade e processamento do leite

O aumento no teor de CLA da gordura por meio de estratégias de nutrição animal tem sido amplamente demonstrado na literatura. No entanto, poucos trabalhos têm mensurado o impacto do processamento do leite sobre a manutenção desta concentração de CLA bem como os aspectos sensoriais do produto final. Tratamentos térmicos como a pasteurização e o uso de Temperaturas Ultra Altas (UHT) e o processamento em derivados lácteos podem alterar sensorialmente o leite, e este efeito pode ser influenciado pelo perfil de ácidos graxos do leite. Por outro lado, o processamento de queijos a partir de leite com alto teor de CLA pode resultar em produto com um teor ainda mais elevado destes ácidos graxos, em função do maior teor de gordura quando comparado ao leite.

Para testar a hipótese de que o processamento não afeta a conteúdo em CLA da gordura do leite e que as características sensoriais do queijo produzido com leite com alto teor de CLA não são afetadas negativamente, foram produzidos na Embrapa Caprinos e Ovinos queijos tipo coalho com leite obtido a partir do ensaio de avaliação do óleo de soja, de girassol e suas misturas com óleo de palmiste.

Os resultados demonstraram que o processamento do leite em queijos tipo coalho não afetou o teor de CLA da gordura, permanecendo seu conteúdo inalterado depois da fabricação do queijo e da maturação por 35 dias. Neste ensaio, com a correção no teor de fibra, a gordura do leite não foi afetada e se manteve acima de 3,0% (média de 3,17%), não havendo depressão da gordura do leite, nem efeito sobre o rendimento em queijo. Na análise sensorial, os queijos produzidos com leite dos animais consumindo óleo de soja ou girassol não apresentaram diferenças em relação ao controle. Por outro lado, foi observada maior aceitabilidade dos queijos produzidos com misturas do óleo de girassol com palmiste, efeito que pode ser explorado para produção de queijos diferenciados quanto a esta característica (Vieira et al., 2009).

Impactos da gordura rica em CLA sobre a nutrição (crescimento) humana

O próximo passo na construção das bases para produção de um alimento lácteo funcional é a avaliação dos efeitos *in vivo*. O primeiro trabalho nesta linha, com a coordenação da Universidade Federal de São Paulo e parceria da Universidade Federal do Ceará e Prefeitura Municipal de Sobral-CE, avaliou o estado nutricional e a saúde de

crianças pré-escolares consumindo o leite com alto teor de CLA produzido com dieta de baixo conteúdo de fibra suplementada com óleo de soja (Fisberg et al., 2010). Este estudo de intervenção, randomizado, controlado, com pré-escolares de 2 a 6 anos foi realizado em uma creche da rede pública municipal de Sobral-CE, com duração de todo um período letivo, sendo monitorados o consumo de leite, a antropometria e os parâmetros bioquímicos (hemograma e colesterol total).

Foram selecionadas 100 crianças, alocadas em quatro grupos com os seguintes tratamentos: leite de cabra com perfil de ácidos graxos modificado; leite de cabra convencional; leite de vaca; e outro leite de cabra com perfil de caseínas modificado, que não fará parte desta discussão.

Foram oferecidos 300 mL/dia, palatabilizados com açúcar (10% peso/volume), sete dias na semana, como parte integrante do desjejum. Foi realizado registro da aceitabilidade do leite, pela análise do volume ingerido e existência de recusas.

Quanto à aceitação, apesar de 94,4% das crianças nunca terem consumido leite de cabra, sua ingestão, neste trabalho, foi semelhante à observada para o leite bovino, com sobras registradas de, em média, 38,78 mL/dia. Estes resultados indicam que não há rejeição ao consumo do leite de cabra por crianças nesta idade, observações que se somam aos achados de Fisberg et al. (1999), em uma creche no estado de São Paulo com crianças da mesma idade, de um consumo do leite de cabra duas vezes superior ao leite de vaca, atribuído pelo mais rápido esvaziamento gástrico do leite, o que confirma a boa aceitabilidade deste alimento.

As crianças recebendo leite de cabra convencional ou com alto teor de CLA apresentaram maior massa corporal quando comparadas àquelas consumindo leite de vaca. Além disto, o leite de cabra também elevou a concentração de hemoglobina sérica de $11,71 \pm 1,03$ mg/dL para $12,29 \pm 0,43$ mg/dL. Aumento na concentração de hemoglobina sérica em crianças recebendo leite de cabra também foi observado por Fisberg et al. (1999), que sugeriram um favorecimento da biodisponibilidade de ferro na presença do leite caprino.

As crianças alimentadas com leite de cabra também apresentaram aumento no número de hemácias, o que corrobora dados da literatura que apontam para melhora do uso do ferro dietético na ingestão do leite de cabra, bem como diminuição das interações do ferro com outros minerais como cálcio, fósforo e magnésio, em comparação ao leite de vaca. Tais efeitos, em conjunto, aumentam a biodisponibilidade do ferro da dieta, contribuindo para o aumento do número de hemácias (Barionuevo et al., 2002).

Apesar desse aumento da biodisponibilidade do ferro no leite de cabra em relação ao leite de vaca, os quatro tratamentos se mostraram ineficazes na prevenção da anemia ferropriva, uma vez que houve diminuição do VCM e HCM, associado ao aumento na contagem de plaquetas, indicando ocorrência de anemia microcítica e hipocrômica (Dugdale, 2006). Esse achado sugere que a oferta de leite, independentemente do tratamento, não foi suficiente para compensar a carência das crianças fora da escola.

Não foram observados efeitos para os parâmetros de bioquímica sanguínea. Apesar dos resultados coincidentes com a literatura, este estudo apresenta limitações típicas de ensaios com humanos, principalmente relacionada com a ausência do controle da ingestão alimentar das crianças no domicílio, uma vez que as crianças permaneceram na escola apenas no período da manhã, o que limita as inferências. Por isto, os trabalhos seguintes foram realizados utilizando modelos animais para se ter maior controle experimental e entendimento dos efeitos da suplementação da dieta com gordura rica em CLA.

O primeiro experimento com modelo animal foi realizado para avaliar o impacto da suplementação com gordura do leite de cabra com alto teor de CLA durante a gestação e lactação de ratas *Wistar*. Este desenho experimental foi baseado na constatação de que alterações dietéticas, especialmente de lipídios, durante o período crítico do desenvolvimento (gestação e lactação) afetam a maturação do sistema nervoso e que dietas maternas ricas em ácidos graxos saturados ou insaturados alteram a programação fetal, interferindo no crescimento da prole, no metabolismo glicêmico (Anselmo et al., 2006; Morgane et al., 1993) e no metabolismo dos lipídeos séricos (Goharkhay et al., 2008).

Em um trabalho conduzido nas Universidades Federal da Paraíba e de Pernambuco (Soares, 2009), foram avaliadas dietas contendo 7% de gordura do leite de cabra com alto teor em CLA (produzido com dietas ricas em óleo de soja) ou 7% de óleo de soja, fonte de ácidos graxos essenciais, utilizado como padrão em dietas destes modelos experimentais. Foram avaliados parâmetros de maturação somática (aparecimento do pavilhão auricular, aparecimento do conduto auricular, abertura dos olhos, erupção dos dentes incisivos superiores e inferiores) e reflexa (preensão palmar, recuperação postural de decúbito, aversão ao precipício pelas vibrissas, aversão ao precipício, geotaxia negativa, resposta ao susto e recuperação do decúbito em queda livre) (Smart & Dobbing, 1971), além de desempenho do nascimento à desmama e nas dez semanas pós-desmame da prole.

Todos os parâmetros investigados na maturação somática dos animais que receberam a dieta contendo a gordura do leite de cabra com alto teor de CLA foram significativamente antecipados quando comparados àqueles consumindo a dieta controle. Com relação à maturação reflexa, todos os reflexos, à exceção da aversão ao precipício pelas vibrissas, também apresentaram uma aceleração em relação ao grupo controle. Além disso, o peso corporal dos ratos até à desmama e durante as dez semanas seguintes foi superior naqueles recebendo gordura do leite de cabra com alto teor de CLA na dieta.

Esses achados demonstram que a oferta de lipídeos neste período considerado crítico para o desenvolvimento do sistema nervoso central em ratos (Morgane et al., 1993) pode influenciar o desenvolvimento desses filhotes e que a dieta contendo a gordura do leite de cabra com alto teor de CLA disponibilizou em sua composição teores adequados de ácidos graxos, proporcionando sua incorporação no cérebro dos neonatos neste período, com reflexos também no período pós-desmama.

Um segundo experimento, conduzido na Universidade Estadual do Rio de Janeiro, teve como objetivo avaliar os efeitos da ingestão de dieta com gordura do leite de cabra com alto teor CLA, sobre o metabolismo dos carboidratos e lipídeos e o desenvolvimento de esteatose hepática em camundongos em fase de crescimento.

Foram utilizados camundongos suíços machos desmamados, divididos em três grupos: animais que receberam dieta padrão para roedores (grupo controle), dieta com gordura do leite de cabra com alto teor de CLA ou dieta com óleo de peixe (rico em ácidos graxos da família n-3). Os animais foram acompanhados até quatro meses de idade. Foram avaliados os parâmetros biométricos (massa corporal, relação da gordura retroperitoneal/massa corporal e peso do fígado) e de bioquímica sanguínea (glicemia de jejum, concentração da insulina de jejum, resistência à insulina e teste de tolerância oral à glicose). Na eutanásia, amostras de sangue foram coletadas por punção cardíaca tiveram o plasma separado para análise bioquímica (colesterol total, triacilgliceróis, alanina aminotransferase e aspartato aminotransferase).

Os resultados demonstraram que os animais recebendo dieta com gordura do leite de cabra não apresentaram alteração da massa corporal, dos depósitos de gordura, dos valores séricos de colesterol total e triacilgliceróis quando comparados aos que receberam dieta controle. Entretanto, os animais do grupo da gordura do leite de cabra apresentaram aumento dos valores de insulina sérica e resistência à insulina e acentuada esteatose hepática

quando comparados aos grupos que receberam óleo de peixe e controle.

Diversos estudos têm evidenciado a habilidade do CLA em reduzir adiposidade e aumentar a massa magra (Park et al., 1997; Pariza et al., 2001; Yamasaki et al., 2003). Todavia, o presente trabalho não detectou alteração da massa corporal, nem aumento da massa de gordura nos animais do grupo recebendo a gordura com alto teor de CLA, enquanto os animais do grupo óleo de peixe apresentaram redução da massa corporal e dos depósitos de gordura.

O efeito do CLA sobre a massa corporal ainda é controverso. Ratos alimentados com dieta suplementada com CLA apresentaram aumento dos depósitos de gordura acompanhado de redução dos níveis de insulina sérica (Sisk et al., 2001). Estudos com humanos demonstraram que a suplementação com CLA não acarreta diminuição da massa corporal (Terpstra, 2004; Tricon et al., 2004; House et al., 2005). Entretanto, alguns autores têm demonstrado tendência de aumento da massa corporal magra com a suplementação com CLA (Mougios et al., 2001; Smedman & Vessby, 2001).

Em relação ao metabolismo de lipídeos, a administração em humanos dos isômeros *trans*-10, *cis*-12 está associada a aumento nos níveis de LDL-colesterol (Smedman & Vessby, 2001). Todavia, estes achados não foram identificados em trabalhos realizados com a suplementação dos isômeros *cis*-9, *trans*-11 (Riserus et al., 2004; Tricon et al., 2004; Tricon et al., 2006). Os achados do presente estudo não demonstraram alteração do perfil lipídico dos animais que receberam dieta enriquecida com CLA comparado ao grupo controle. A literatura não aponta alteração dos níveis de TG com o uso do CLA (Mougios et al., 2001; Noone et al., 2002; Petridou et al., 2003), mas observaram-se menores níveis de TG no grupo óleo de peixe.

Com relação ao metabolismo dos carboidratos, a literatura revela resultados conflitantes em humanos. Apesar de diversos estudos evidenciarem ausência de alterações nos níveis de insulina e glicose e no índice de tolerância à insulina (Smedman & Vessby, 2001; Noone et al., 2002; Tricon et al., 2004), o presente trabalho demonstrou alteração dos níveis de insulina e de tolerância à insulina nos animais do grupo recebendo gordura de leite de cabra com alto teor de CLA, caracterizando um quadro de resistência à insulina. Estes achados concordam com outros estudos experimentais (Tsuboyama-Kasaoka et al., 2000).

O acúmulo de lipídeo hepático, demonstrado pelo aumento de esteatose hepática, pode ser associado ao quadro de resistência à insulina evidenciada no presente

estudo. Contudo, algumas pesquisas têm identificado aumento da beta oxidação hepática em animais suplementados com CLA (Tsuboyama-Kasaoka et al., 2000; Clement et al., 2002; Degrace et al., 2004).

Conclusões

A suplementação da dieta dos animais com óleo de soja é a melhor estratégia para produção de leite de cabra com alto teor de CLA. O ensaio com crianças pré-escolares confirma que a aceitação do leite de cabra, mesmo não havendo hábito de consumo prévio de leite caprino, é semelhante à do leite de vaca e também que este alimento contribui para maior crescimento e redução na ocorrência de anemia. Os ensaios com modelos animais também indicam que alimentos funcionais baseados em gordura caprina com alto teor de CLA para fêmeas durante a gestação e lactação influenciam positivamente a maturação do sistema nervoso central das crias. Por outro lado, ainda são necessárias mais pesquisas para entender a influência do CLA sobre o metabolismo de carboidratos.

Agradecimentos

À Embrapa (macroprogramas 1 e 2) e ao Banco do Nordeste do Brasil, pelo apoio financeiro. Às empresas Agropalma e Caprilat, pelo apoio no fornecimento de óleo de palmiste e de leite de cabra durante a execução destes trabalhos experimentais. À Prefeitura Municipal de Sobral-CE, por meio da Secretaria de Educação. Ao prof. Dr. Plácido Arcanjo, da Universidade Federal do Ceará, à nutricionista Márcia Amici e ao Analista da Embrapa Caprinos e Ovinos, Leandro Silva Oliveira, pelo relevante envolvimento nas atividades dos projetos.

Literatura Citada

- ABUGHAZALEH, D.J.; FELTON, D.O.; IBRAHIM, S.A. Supplementation with whole cottonseed changes milk composition and milk fatty acid profile in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.90, p.4793-4769, 2007.
- ANSELMO, C.W.S.F.; SANTOS, A.A.A.; FREIRE, C.M.A. et al. Influence of a 60Hz, 3 T, electromagnetic field on the reflex maturation of wistar rats offspring from mothers fed a regional basic diet during pregnancy. **Nutritional Neuroscience**, v.9, p.201-206, 2006.
- BARRIOUNUEVO, M.; ALFEREZ, M.J.M.; LOPEZ ALIAGA, I. et al. Beneficial effect of goat milk on nutritive utilization of iron and cooper in malabsorption syndrome. **Journal of Dairy Science**, v.85, n.1, p.657-664, 2002.
- BAUMAN, D.E.; MATHER, I.H.; WALL, R.J. et al. Major advances associated with the biosynthesis of milk. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.1235-1243, 2006.

- BOMFIM, M.A.D. Recentes avanços na nutrição de cabras leiteiras. In: CURSO SOBRE AVANÇOS EM NUTRIÇÃO ANIMAL E FORMULAÇÃO DE RAÇÃO, 1., 2010, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas [2010]. (CD-ROM).
- BOMFIM, M.A.D. Uso do leite de cabras como alimento funcional. In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 4., 2006, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Sociedade Nordestina de Produção Animal [2006]. (CD-ROM).
- BOMFIM, M.A.D.; LANNA, D.P.D.; FACO, O. et al. Efeito da manipulação dos teores de ácidos graxos sobre o potencial funcional da gordura do leite de cabra para a nutrição e saúde humanas. In: CONGRESSO PAN-AMERICANO DO LEITE, 9., 2006, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Federação Panamericana de Leite [2006]. (CD-ROM).
- BOMFIM, M.A.D.; OLIVEIRA, L.S.; FERNANDES, M.F. Uso da nutrição para a diferenciação e a valorização da qualidade do leite e da carne: um novo paradigma na nutrição de pequenos ruminantes. In: CONGRESSO NACIONAL DE NUTRIÇÃO, 1., 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará [2008]. (CD-ROM).
- CHILLIARD, Y.; FERLAY, A.; ROUEL, J. et al. A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.1751-1770, 2003.
- CHIN, S.F.; STORKSON, J.M.; ALBRIGHT, K.J. et al. Conjugated linoleic acid is a growth factor for rats as shown by enhanced weight gain and improved feed efficiency. **Journal of Nutrition**, v.124, n.2344-2349, 1994.
- CLEMENT, L.; POIRIER, H.; NIOT, I. et al. Dietary trans-10,cis-12 conjugated linoleic acid induces hyperinsulinemia and fatty liver in the mouse. **Journal of Lipid Research**, v.43, p.1400-1409, 2002.
- COOK, M.C.; MILLER, C.C.; PARK, Y. et al. Immune modulation by altered nutrient metabolism: Nutritional control of immune-induced growth depression. **Poultry Science**, v.72, p.1301-1305, 1993.
- CORDEIRO, P.R.C.; CORDEIRO, A.G.P.C. Mercado do leite de cabra e de seus derivados. In: FONSECA, J.F.; BRUSCHI, J.H. (Eds.). **Produção de caprinos na região da Mata Atlântica**. Juiz de Fora: Embrapa Caprinos e Ovinos/Gado de Leite, 2009. p.49-58.
- DEGRACE, P.; DEMIZIEUX, L.; GRETI, J. et al. Hepatic steatosis is not due to impaired fatty acid oxidation capacities in C57BL/6J mice fed the conjugated trans-10,cis-12-isomer of linoleic acid. **Journal of Nutrition**, v.134, p.861-867, 2004.
- DUGDALE, A.E. Predicting iron and folate deficiency anaemias from standard blood testing: the mechanisms and implications for clinical medicine and public health in developing countries. **Theoretical Biology & Medical Modelling**, v.3, n.1, p.34-38, 2006.
- FISBERG, M.; FERREIRA, A.M.A.; FISBERG, R.M. et al. Aceitação e tolerância de leite de cabra em pré-escolares. **Pediatrica Moderna**, v.35, n.7, p.526-537, 1999.
- FISBERG, M.; HORTA, P.M.; SANTOS, L.C. et al. Modification of constituents and exploration of functional properties of goat's milk: effects on the health and nutritional status of preschoolers. **Journal of Medicine and Medical Sciences**, v.1, p.412-417, 2010.
- GOHARKHAY, N.; TAMAYO, E.H.; YIN, H. et al. Maternal hypercholesterolemia leads to activation of endogenous cholesterol synthesis in the offspring. **American Journal Obstetrics Gynecology**, v.199, p.273.e1-273.e6., 2008.
- HAENLEIN, G.F.W. Goat milk in human nutrition. **Small Ruminant Research**, v.51, p.155-163, 2004.
- HILLBRICK, G.; AUGUSTIN, M.A. Milk fat characteristics and functionality: opportunities for improvement. **Australian Journal of Dairy Technology**, v.57, p.45-51, 2002.
- HOUSE R.L.; CASSADY J.P.; EISEN E.J. et al. Conjugated linoleic acid evokes de-lipidation through the regulation of genes controlling lipid metabolism in adipose and liver tissue. **Obesity Review**, v.6, p.247-258, 2005.
- KEPLER, C.R.; TOVE, S.B. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids. **The Journal of Biological Chemistry**, v.242, p.5686-5692, 1967.
- MARTINS, E.C.; WANDER, A.E.; CHAPAVAL, L. et al. O mercado e as potencialidades do leite de cabra na cidade de Sobral: a visão do consumidor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 7., Fortaleza **Anais...** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical [2007] (CD-ROM). <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF/26412/1/95.pdf>
- MATOS, R.S. **Perfil de ácidos graxos e cinética da digestão de nutriente em caprinos**. 2008. 115f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MESQUITA, I.V.U.; COSTA, R.G.; QUEIROGA, R.C.R.E. et al. Efeito da dieta na composição química e características sensoriais do leite de cabras. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v.340/341, p.73-81, 2004.
- MORGANE, P.J.; MILLER, M.; KEMPLER, T. et al. Prenatal malnutrition and development of the brain. **Neuroscience and Biobehaviour Review**, v.17, p.91-128, 1993.
- MOUGIOS, V.; MATSAKAS, A.; PETRIDOU, A. et al. Effect of supplementation with conjugated linoleic acid on human serum lipids and body fat. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v.12, p.585-594, 2001.
- MOURÃO, D.M.; MONTEIRO, J.B.R.; STRINGHETA, P.C. et al. Ácido linoléico conjugado e perda de peso. **Review of Nutrition**, v.18, n.5, p.391-399, 2005.
- NICOLOSI, R.J.; COURTEMANCHE, K.V.; LAITINEN, L. et al. Effect of feeding diets enriched in conjugated linoleic acid on lipoproteins and aortic atherogenesis in hamster. **Circulation**, v.88, p.451-457, 1993.
- NOONE, E.J.; ROCHE, H.M.; NUGENT, A.P. et al. The effect of dietary supplementation using isomeric blends of conjugated linoleic acid on lipid metabolism in healthy human subjects. **British Journal of Nutrition**, v.88 p.243-251, 2002.
- PARIZA, M.W.; PARK, Y.; COOK, M.E. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. **Progress in Lipid Research**, v.40, p.283-298, 2001.
- PARK Y.; ALBRIGHT K.J.; LIU W. et al. Effect of conjugated linoleic acid on body composition in mice. **Lipids**, v.32, p.853-858, 1997.
- PARODI, P.W. Anti-cancer agents in milk fat. **Australian Journal of Dairy Technology**, v.58, p.114-118, 2003.
- PARODI, P.W. Cow's milk components as potential anticarcinogenic agents. **Journal of Nutrition**, v.127, p.1055-1060, 1997.
- PETRIDOU, A.; MOUGIOS, V.; SAGREDOS, A. Supplementation with CLA: isomer incorporation into serum lipids and effect on body fat of women. **Lipids**, v.38, p.805-811, 2003.
- RISERUS, U.; SMEDMAN, A.; BASU, S. et al. Metabolic effects of conjugated linoleic acid in humans: the Swedish experience. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.79, p.1146S-1148S, 2004.
- SISK, M.B.; HAUSMAN, D.B.; MARTIN, R.J. et al. Dietary conjugated linoleic acid reduces adiposity in lean but not obese Zucker rats. **Journal of Nutrition**, v.131, p.1668-1674, 2001.
- SMART, J.L.; DOBBING, J. Vulnerability of developing brain. II. Effects of early nutritional deprivation on reflex ontogeny and development of behavior in the rat. **Brain Research**, v.28, p.85-95, 1971.
- SMEDMAN, A.; VESSBY, B. Conjugated linoleic acid supplementation in humans—metabolic effects. **Lipids**, v.36, p.773-781, 2001.
- SOARES, J.K.B. **Impacto do leite de cabra sobre a ontogenia reflexa, somática e o crescimento ponderal em ratos**.

2009. 70f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- TERPSTRA, A.H. Effect of conjugated linoleic acid on body composition and plasma lipids in humans: an overview of the literature. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.79, p.352-361, 2004.
- TRICON, S.; BURDGE, G.C.; JONES, E.L. et al. Effects of dairy products naturally enriched with cis-9,trans-11 conjugated linoleic acid on the blood lipid profile in healthy middle-aged men. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.83, p.744-753, 2006.
- TRICON, S.; BURDGE, G.C.; KEW, S. et al. Opposing effects of cis-9,trans-11 and trans-10,cis-12 conjugated linoleic acid on blood lipids in healthy humans. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.80 p.614-620, 2004.
- TSUBOYAMA-KASAOKA, N.; TAKAHASHI, M.; TANEMURA, K. et al. Conjugated linoleic acid supplementation reduces adipose tissue by apoptosis and develops lipodystrophy in mice. **Diabetes**, v.49, p.1534-1542, 2000.
- VIEIRA, A.D.S.; SANTOS, K.M.O.; MORAES, G.M.D. et al. Influência de estratégias para aumentar a concentração de ácido linoléico conjugado (CLA) sobre a aceitação de queijos caprino tipo coalho. In: ENCONTRO NACIONAL DE ANALISTAS DE ALIMENTOS, 16., 2009, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Analistas de Alimentos [2009] (CD-ROM).
- YAMASAKI, M.; IKEDA, A.; OJI, M. et al. Modulation of body fat and serum leptin levels by dietary conjugated linoleic acid in Sprague-Dawley rats fed various fat-level diets. **Nutrition**, v.19, p.30-35, 2003.