



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CAMPUS DE GOVERNADOR VALADARES
DEPARTAMENTO DE FARMÁCIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Leila Silva e Castro

**Caracterização de leite cru de vacas com genótipos A1A2 e A2A2 para β -caseína –
um estudo exploratório**

Governador Valadares – MG

2024

**Caracterização de leite cru de vacas com genótipos A1A2 e A2A2 para β -caseína –
um estudo exploratório**

Leila Silva e Castro

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Juiz de Fora – Campus GV, como requisito à obtenção de menção da disciplina e conclusão de curso.

Orientador: Milton de Jesus Filho
Coorientadora: Andréa Alves Simiqueli

Governador Valadares – MG

2024

**Caracterização de leite cru de vacas com genótipos A1A2 e A2A2 para β -caseína –
um estudo exploratório**

Leila Silva e Castro¹, Lohanne Francino dos Santos¹, Lorayne da Silva Melo Moreira¹, Wesley William Gonçalves Nascimento¹, Manoela Meira Balzan², Roger Wagner², Andréa Alves Simiqueli¹, Milton de Jesus Filho^{1*}

¹Departamento de Farmácia, Instituto de Ciências da Vida, Universidade Federal de Juiz de Fora, 35010-177, Governador Valadares, MG, Brasil

²Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

*Autor correspondente: miltonfilhoea@gmail.com_(Milton de Jesus Filho)

Resumo

O leite de vaca é um produto rico em nutrientes, considerado um dos alimentos mais consumidos no mundo. Neste produto, a β -caseína representa aproximadamente 35% do total das caseínas, podendo estar presente na forma de diferentes variantes, sendo as β -caseínas A1 e A2 as mais prevalentes. O peptídeo opioide β -casomorfina-7 (BCM-7), composto que pode causar desconforto intestinal em consumidores, pode ser liberado durante a digestão da β -caseína A1. No entanto, sua liberação durante a digestão da β -caseína A2 é pequena ou inexistente. Neste contexto, esse estudo teve como objetivo determinar de forma exploratória, características físico-químicas e elétricas de leite cru de vacas com genótipos A1A2 e A2A2 para a β -caseína e verificar se existem diferenças entre as duas amostras. Para isto, os leites foram avaliados quanto aos parâmetros de qualidade e composição centesimal, por meio de métodos oficiais de análise, da espectroscopia de impedância elétrica e da cromatografia gasosa. Os resultados obtidos evidenciaram uma relação entre o tipo de variante de β -caseína e as propriedades do leite. O leite A2A2 apresentou maior densidade, teor de gordura, de proteínas, de sólidos não gordurosos e de sólidos totais. Ademais, obteve maior impedância elétrica (módulo, parte real e imaginária) e menor admitância, para a faixa de frequência analisada (1 kHz a 5 MHz). Por outro lado, o leite A1A2 obteve maior valor médio de pH, de teor de água e de cinzas. Em geral, foram detectados 32 ácidos graxos nas duas amostras, sendo estas constituídas principalmente de ácido palmítico, de ácido oleico e do ácido esteárico. Além disso, observaram-se as principais diferenças entre o leite A1A2 e A2A2 em relação à abundância dos ácidos graxos insaturados. Os ácidos graxos conjugados CLAS c9, t11 e o CLAS c12, t10 foram identificados nas duas amostras, porém, não foi observado efeito significativo ($p > 0,05$) em relação à abundância. Diante deste exposto, esse estudo demonstrou a necessidade de mais pesquisas científicas, com maior número de amostras, para compreender melhor as diferenças entre os leites cru bovino com variados genes de β -caseína.

Palavras-chave: leite A2; propriedades físico-químicas; impedância elétrica, perfil de ácidos graxos.

1. Introdução

O leite é um dos alimentos mais consumidos no mundo (Siqueira, 2019). É uma matriz alimentar nutricionalmente completa, devido ao seu teor significativo de proteínas, gorduras, açúcares, vitaminas e minerais, o que justifica a recomendação de seu consumo (Silva et al., 2019; Pereira et al., 2012). Atualmente, se discute sobre os inúmeros benefícios do leite à saúde humana. Em contrapartida, estudos têm demonstrado que o consumo deste produto pode ocasionar sensibilidade em alguns indivíduos durante o processo de digestão, isto se deve ao tipo de β -caseína em sua composição, o que contribui para que muitas pessoas deixem de consumir (Barbosa et al., 2019; Barnett et al., 2014).

As proteínas do leite são divididas em dois grupos distintos: as caseínas, que compreendem 80%, e as proteínas do soro, que constituem 20%, do total da fração proteica. As caseínas são produzidas nas células epiteliais da glândula mamária e podem ser divididas em quatro frações: α S1, α S2, β e kappa-caseína. Entre essas porções, destaca-se a β -caseína, que representa cerca de 35-45% do total das caseínas presentes (Huang et al., 2022; Li et al., 2022; Costa et al., 2021).

Segundo Dantas et al. (2023), foram identificadas doze variantes de β -caseína no leite bovino, nomeadamente: A1, A2, A3, B, C, D, E, F, G, H1, H2 e I. Dentro deste conjunto, as variantes A1 e A2 surgem como as mais frequentemente encontradas. Estas são diferenciadas por uma mudança na sua sequência de nucleotídeos, que durante a formação da cadeia de aminoácidos da β -caseína, modifiquem a sua sequência na posição 67, devido a presença do aminoácido histidina (no alelo A1) e prolina (no alelo A2).

As caseínas são transformadas em compostos opióides, conhecidos como β -casomorfina, com destaque para a β -casomorfina-7 (BCM-7) (Lebrun, 2009). É importante ressaltar que a presença da BCM-7 está associada ao alelo A1 da β -caseína (Kaplan et al., 2023). Existem evidências que sugerem que o consumo de leite que contenha a β -caseína A1, e consequentemente, que leve a formação de BCM-7 durante o processo digestivo, pode desencadear reações alérgicas e desconfortos intestinais (Semwal et al., 2022; Jianqin et al., 2016). Por outro lado, ao consumir leite que contém somente o alelo A2 da β -caseína, pode liberar insignificantes ou nenhuma quantidades de BCM-7, exceto em condições específicas *in vitro* com pH e condições enzimáticas não encontradas no intestino humano (Haq et al., 2014). Sendo assim, o leite A2 pode oferecer alívio para pessoas sensíveis aos derivados da β -caseína A1, que frequentemente apresentam desconforto após o consumo de leite. Além disso, estudos têm demonstrado que o consumo de leite A2 apresentou efeitos benéficos à saúde cardiovascular (Venn et al., 2006); Isto pode estar associado à redução de distúrbios neurológicos (Semwal et al., 2022; Kumar et al., 2021); atenuação dos sintomas gastrointestinais (Ramakrishnan et al.,

2020; Ho et al., 2014; Roy et al., 2008) e melhora da saúde de atletas (Kaplan et al., 2022; Kirk et al., 2017). Por isso, justifica o interesse dos consumidores por este produto, que consequentemente, tem aumentado a produção do leite A2 de forma expressiva em todo o mundo (CONAB, 2017; MILKPOINT, 2017).

Por se tratar de um tema que tem ganhando destaque no cenário mundial, devido às potenciais propriedades funcionais do leite A2, ainda existem poucos estudos na literatura científica que avaliaram características deste produto (Bisutti et al., 2022; Vitte et al., 2022; Jung et al., 2017; Poulsen et al., 2013). Neste sentido, são necessários novos trabalhos que investiguem se existem possíveis diferenças entre os leites oriundos de vacas com variados genes de β -caseína utilizando distintas técnicas analíticas. Os dados exploratórios obtidos nesta pesquisa podem contribuir para verificar se existem compostos químicos marcadores de identidade e de interesse em leite A2. Deste modo, este estudo teve como objetivo analisar amostras de leite cru bovino heterozigoto (A1A2) e homozigoto (A2A2) quanto aos parâmetros físico-químicos, impedância elétrica e composição de ácidos graxos.

2. Materiais e métodos

2.1 Reagentes e padrões analíticos

Neste estudo foram utilizados os seguintes reagentes e soluções: hidróxido de sódio (Alphatec®, Brasil), sulfato de cobre (Impex, Brasil), sulfato de potássio (Alphatec, Brasil), clorofórmio, metanol, solução de sulfato de sódio (1,5%), hidróxido de potássio (0,4M), hexano (Merck, Darmstadt, Alemanha), indicador Tashiro (Vermelho de metila 0,2% + azul de metileno 0,2%, Sciavicco, Brasil), fenolftaleína 1% (Êxodo® científica, Brasil), ácido bórico (Êxodo® científica, Brasil), ácido sulfúrico (Impex, Brasil), álcool isoamílico (Sciavicco, Brasil), clorofórmio (Merck, Darmstadt, Alemanha), metanol (Merck, Darmstadt, Alemanha) e solução de alizarol 72% (v/v) (LAB LAC, Brasil).

Os padrões analíticos C23:0 (tricosanoato de metila), os ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME), éster metílico conjugado de ácido linoléico, isômeros *cis/trans* de éster metílico de ácido linoléico, mistura de isômeros de éster metílico de ácido linolênico, éster metílico de ácido transvacênico e o éster metílico docosapentaenóico foram obtidos da Sigma-Aldrich (EUA).

2.2 Coleta de amostras

As amostras foram obtidas em uma propriedade leiteira no município de Alpercata, Minas Gerais, Brasil (- Latitude: -18.9771, Longitude: -41.983 18° 58' 38" Sul, 41° 58' 59" Oeste), em julho de 2023. Os leites foram coletados de duas vacas da raça Guzerá em bom estado de saúde, em estágio de lactação de seis meses e com quatro partos, sendo estas

alimentadas com pasto (majoritariamente) e silagem de milho, uma com genótipo A1A2 e a outra A2A2 para β -caseína

Todos os animais utilizados neste estudo foram previamente genotipados por análise de DNA pela técnica de PCR (Reação em Cadeia da Polimerase), para confirmação do genótipo da β -caseína que compõe o leite.

As amostras de leite foram transportadas sob refrigeração (± 7 °C) para o laboratório onde foi conduzido o estudo e armazenadas sob as mesmas condições até a realização das análises.

2.3 Análises físico-químicas

As análises de composição centesimal foram conduzidas de acordo com as metodologias propostas pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016; AOAC, 2006; AOAC, 2005). A determinação de pH foi obtida utilizando um pHmetro digital da marca Mettler Toledo, modelo SevenCompact S220, previamente calibrado. A análise da acidez foi realizada por titulação com NaOH 0,1 N e os resultados foram expressos em porcentagem de ácido láctico.

Para a determinação da densidade do leite, utilizou-se um termolactodensímetro. A densidade aproximada e a temperatura da amostra foram observadas por meio da leitura na cúspide do menisco do densímetro. Posteriormente, foi realizada uma correção da densidade para a temperatura de 15 °C, a fim de obter o valor corrigido da densidade do leite.

A medição do índice crioscópico do leite foi conduzida utilizando um crioscópio de bancada (ENTELBRA, MicroLak) seguindo rigorosamente as diretrizes fornecidas pelo fabricante. Os resultados obtidos foram expressos em graus Hortvet (°H).

O teor de água foi obtido por secagem em estufa convencional (THOTH Linha TH.500), a 105 °C até peso constante e o de cinzas por incineração da amostra em mufla (ZEZIMAQ, modelo 2000C-2RP) a temperatura de 550 °C. O teor de proteína foi obtido pelo método Kjeldahl e de gordura, pelo método butirométrico de Gerber.

O Extrato Seco Total (EST) foi obtido por cálculo da diferença entre 100% dos componentes e o teor de água da amostra. O extrato seco desengordurado também foi obtido por cálculo, da diferença entre EST e gordura.

O teste de alizarol foi realizado utilizando 2 mL de solução de alizarol 72% v/v e 2 mL de leite. As amostras foram consideradas com acidez normal e estável ao álcool 72% v/v se apresentassem coloração vermelha tijolo sem grumos ou com poucos grumos muito finos, conforme preconizado pela Instrução Normativa nº 77 de 26 de novembro de 2018 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA).

2.4 Espectroscopia de impedância elétrica

As medidas de impedância elétrica foram obtidas em analisador de impedância (HIOKI, modelo 3170), estimulado por um campo elétrico externo alternado, do tipo senoidal, com pico de 1 V para pico, em uma faixa de frequência de 1 kHz a 5 MHz. Adaptou-se ao instrumento um eletrodo de vidro compostos por duas placas paralelas de platina (constante geométrica $K = 1 \text{ cm}^{-1}$). Em todo o experimento, a temperatura de 20 °C foi mantida constante.

Foram medidas as seguintes grandezas elétricas: módulo da impedância, partes real e imaginária da impedância e admitância.

2.5 Ácidos graxos

Primeiramente, as amostras de leite foram liofilizadas por meio do liofilizador (modelo SL-404, SOLAB). A extração dos lipídios foi realizada conforme a metodologia de Bligh e Dyer (1959) com modificações. Para isso, misturou-se 1 g de leite em pó, 8 mL de clorofórmio, 16 mL de metanol e 6,4 mL de água. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas em agitador orbital por 30 min. Em seguida, foram adicionados 8 mL de clorofórmio e 8 mL de solução de sulfato de sódio (1,5%) e agitados por mais 2 min. Os extratos foram centrifugados e a fração orgânica (clorofórmica) foi reservada para análise do conteúdo lipídico. Após secagem dos extratos com bomba de vácuo a 40 °C, aproximadamente 20 mg de lipídios foram submetidos ao procedimento de metilação, de acordo com o procedimento de Hartman e Lago (1973). A derivatização dos lipídios em ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMES) foi realizada pela adição de 1 mL de KOH (0,4 M) em metanol e submetidos a banho-maria em ponto de ebulição por 10 min. Em seguida, após resfriamento, foi adicionado 3 mL de H₂SO₄ (1 M) em metanol, e submetidos novamente ao banho-maria por 10 min.

Os FAMES foram solubilizados com 2 mL de hexano e analisados em cromatógrafo gasoso equipado com detector de ionização de chama (GC/FID, Star CX 3400, Varian, Palo Alto, Estados Unidos). Para a realização das análises, 1 µL de cada extrato foi injetado em modo split (1:20) a 250 °C. O hidrogênio foi utilizado como gás de arraste a pressão constante de 25 psi. Os analitos foram separados em coluna capilar HP-88 (100 m × 0,25 mm d.i.; 0,20 µm de espessura de filme; Bellefonte, EUA). A temperatura inicial da coluna foi de 80 °C, permanecendo por 2 min e aumentando até 175 °C, a uma taxa de 10 °C/min, mantendo por 10 min. Em seguida, aumentando para 210 °C, a uma taxa de 4 °C/min, mantendo por 5 min, e finalmente até 230 °C, aumentando 5 °C/min, mantendo por 5 min em isotérmico. A identificação dos ácidos graxos foi realizada comparando os tempos de retenção experimentais com padrões de FAME Mix 37 (P/N 47885-U), éster metílico conjugado de ácido linoléico (P/N O5632), isômeros cis/trans de éster metílico de ácido linoléico (P/N 47791), mistura de isômeros de éster metílico de ácido linolênico (P/N 47792), éster metílico de ácido transvacênico (P/N

46905-U) e éster metílico docosapentaenóico (P/N 47563-U), todos oriundos da Sigma-Aldrich (EUA). Os resultados foram expressos em porcentagem da área total dos cromatogramas, considerando o fator de correção da cadeia de carbono do FID e o fator de conversão éster em ácido, conforme descrito por Visentainer (2012).

2.6 Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata. Os resultados das análises de caracterização físico-química e de ácidos graxos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância, utilizando o software Sisvar, versão 5.6. Os espectros obtidos na análise de impedância elétrica foram gerados a partir do software OriginPro 9.0.0 (64 bits) SR2 b87.

3. Resultados e discussões

3.1 Parâmetros de qualidade e composição centesimal

As características físico-químicas do leite são passíveis de alterações, devido às condições genéticas, nutricionais e ambientais das vacas, de forma fraudulenta ou relacionado às condições de conservação durante os processos de obtenção, armazenamento, transporte e beneficiamento do leite (Bertolini et al., 2017).

Os resultados das análises físico-químicas, conforme evidenciados na Tabela 1, demonstram que as amostras de leite analisadas estão em conformidade com os critérios estabelecidos pelo regulamentos técnicos de identidade e qualidade (RTIQ) para leite cru refrigerado, de acordo com as Instruções Normativas nº 76 e 77 de 26 de novembro de 2018 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA).

O leite A2A2 apresentou maior densidade (1,034%); teor de gorduras (5,90%), de proteínas (3,70%), de sólidos não gordurosos (11,70%) e de sólidos totais (17,60%), enquanto o leite A1A2 obteve maior valor de pH (6,76), teor de água (85,05%) e de cinzas (0,75%). Somente a acidez titulável dos leites bovino A1A2 e A2A2 não se diferiram estatisticamente ($p > 0,05$). O valor médio obtido foi de 0,18% de ácido lático (Tabela 1).

Em concordância ao observado neste trabalho, Heck et al. (2009) também verificaram que o tipo de genótipo da β -caseína teve efeito significativo em relação ao teor de proteínas de leite bovino. Por outro lado, Kumar et al. (2022), Vitte et al. (2022) e Albarella et al. (2020) não verificaram diferenças entre os leites de vaca de genótipos heterozigoto (A1A2) e homozigoto (A2A2) quanto ao pH, teor de gordura, de proteínas, de sólidos não gordurosos e totais e de cinzas. Vitte et al. (2022) encontraram valores médios de pH, proteína, gordura e matéria seca de 6,51; 3,7%; 5,36% e 14,46%, respectivamente. Kumar et al. (2022) obtiveram teor médio de gordura de 4,20%. Foi obtido no trabalho de Albarella et al. (2020), dados de concentração de

cinzas de 0,79%; proteínas de 3,46%; gordura de 3,74%; sólidos não gordurosos de 8,94% e sólidos totais de 12,73%.

3.2 Caracterização dos leites por espectroscopia de impedância elétrica

A análise de caracterização elétrica das amostras de leite revelou que tanto a impedância (módulo, parte real e imaginária) quanto a admitância, variaram em função da frequência e do tipo de amostra (Figura 1).

Os efeitos relacionados ao módulo de impedância (Figura 1C) são mais intensos em baixas frequências. A impedância elétrica diminuiu à medida que a frequência aumentou, uma vez que ocorre uma redução no número de íons que conseguem se alinhar. Isso resulta em uma diminuição no número de cargas elétricas e consequentemente, ocorre uma redução na energia dissipada e armazenada no sistema, bem como um decréscimo no sinal medido pelo módulo de impedância (Lima et al. 2022).

As Figuras 1A e 1B apresentam os espectros gerados da parte real e imaginária da impedância elétrica, respectivamente. As amostras analisadas exibiram valores de resistência aproximadamente 235 ohm para o leite A1A2 e 245 ohm para o leite A2A2, que são medidos na região do espectro de baixa frequência. Esses valores de resistência são considerados baixos, se comparado à água, por exemplo, uma vez que o leite é um eletrólito condutor devido à presença de uma concentração significativa de íons livres, em especial cloreto, sódio e potássio. A parte real, por sua vez, mostra uma leve queda para altas frequências, em razão do leite possuir um perfil capacitivo baixo e ser predominantemente resistivo em todo o espectro, decorrente da sua baixa viscosidade, com pouco acúmulo de carga. A parte imaginária apresenta valores baixos e próximos de zero, com o pico posicionado apenas a altas frequências (>1 MHz), o que se explica devido ao fato do leite ser um sistema desorganizado com muitos íons disponíveis para condução (Lima et al. 2022).

A admitância elétrica é definida como o inverso da impedância e mede a capacidade de condução do leite em um circuito de corrente alternada. No espectro apresentado na Figura 1D, pode-se observar que a admitância tende a aumentar à medida que a frequência se torna relativamente alta, o que se deve a quantidade significativa de portadores de carga presentes no leite. Isso significa que o leite exibe uma maior capacidade de condução elétrica em frequências mais elevadas em relação à água, em decorrência da disponibilidade de íons carregados, tornando-se mais condutivo.

É interessante mencionar que alguns estudos realizaram a caracterização elétrica de amostras de leite de vaca. Lima et al. (2022) analisaram leite cru e Lopes et al. (2018) investigaram leite UHT integral, semidesnatado e desnatado, assim como leite cru semidesnatado e desnatado com redução e/ou fortificação dos teores de gordura. Ambos os estudos empregaram

a espectroscopia de impedância elétrica, e seus resultados demonstraram um comportamento semelhante ao encontrado no presente trabalho. As amostras analisadas por Lima et al. (2022) apresentaram valores de resistência na faixa de 500 ohms. Na pesquisa científica de Lopes et al. (2018), foram obtidos valores entre 0 e 3000 ohms.

Observa-se nos espectros obtidos na Figura 1, que a amostra de leite cru de vaca de genótipo A2A2 apresentou maior impedância (módulo, parte real e imaginária) e menor admitância, em comparação com o leite de vaca de genótipo A1A2. Essas diferenças indicam que as duas amostras de leite têm propriedades elétricas distintas, o que pode estar relacionada às variações na composição química e física das amostras. A presença dos íons Na^+ , K^+ e Cl^- é responsável pela maior parte da condutividade elétrica dos produtos lácteos (Chakraborty et al., 2018). Foi observada que a amostra de leite A1A2 apresentou um maior teor de cinzas (Tabela 1), que está relacionado aos níveis de minerais presentes no leite. Este resultado pode indicar uma das possíveis justificativas da menor impedância elétrica do leite A1A2.

Algumas pesquisas demonstraram que a variação no conteúdo e tamanho dos glóbulos de gordura, assim como a estrutura das proteínas, também contribuem significativamente para a condutividade elétrica de alimentos. De acordo com o estudo de Meira et al. (2023), a impedância elétrica dos produtos lácteos cresce à medida que o teor de gordura aumenta, isso ocorre devido os glóbulos de gordura ocuparem o volume do meio condutor, impedindo a mobilidade dos íons condutores. Esta informação corrobora com os dados obtidos neste estudo, uma vez que a amostra A2A2 apresentou maior teor de gordura (5,90%) em comparação com a amostra A1A2 (5,50%). Além disso, verificou-se que o leite A2A2 apresentou menor porcentagem de umidade (82,4%), comparado ao leite A1A2 (85,05%), o que tende a reduzir a condutividade elétrica do material (Tabela 1). Outro fato importante que vale ressaltar, é que a composição da β -caseína se difere entre os dois tipos de amostras. O leite A2A2 apresenta o aminoácido prolina na posição 67, enquanto o leite A1A2 possui o aminoácido histidina (Pal et al., 2015). A histidina é um aminoácido básico e carregado eletricamente, enquanto a prolina é um aminoácido apolar, possuindo carga elétrica neutra. Possivelmente, essa diferença estrutural na molécula da β -caseína também contribuiu para que o leite A1A2 apresente uma menor impedância, uma vez que a fração protéica desta amostra é constituída de mais cargas elétricas livres do que o leite A2A2.

3.3 Perfil de Ácidos graxos

Na Tabela 2 é apresentada a composição dos ácidos graxos das amostras de leite bovino. Foram detectados nos leites A1A2 e A2A2, 31 e 32 analitos, respectivamente. No geral, foram identificados 16 ácidos graxos saturados, 8 ácidos graxos monoinsaturados e 8 ácidos graxos poli-insaturados. Os compostos mais abundantes encontrados nas amostras foram o ácido

palmítico (30,19 a 31,86%), o ácido oleico (26,41 a 26,88%) e o ácido esteárico (14,84 a 17,86%). Ambas as matrizes alimentícias apresentaram mais de 61% da abundância total de ácidos graxos saturados. Quanto ao conteúdo dos ácidos graxos insaturados, os leites são constituídos de, aproximadamente, no máximo de 36% de ácidos graxos monoinsaturados e menos de 3% de ácidos graxos poli-insaturados. Martini et al. (2023) também encontraram maiores proporções de ácidos graxos saturados em leite cru (71,73%). Ademais, os ácidos palmítico (35,95%) e oleico (19,97%) apresentaram maiores concentrações nas amostras analisadas. Porém, o ácido mirístico foi o terceiro composto mais abundante (12,16%), diferente do encontrado no presente estudo. Róin et al. (2023) identificaram 17 compostos ao avaliarem o perfil de ácidos graxos de leite de vacas dinamarquesas. Além disto, a fração de gordura das amostras investigadas continham maiores teores de ácido palmítico (30,74%) e o ácido oleico (20,51%), e o somatório da proporção de ácidos graxos saturados e monoinsaturados foi acima de 90%, o que corrobora ao encontrado neste trabalho nos leites A1A2 e A2A2.

Dentre os ácidos graxos saturados, apenas o C14:0, C15:0, C16:0 e C18:0 tiveram influência significativa ($p < 0,05$) do genótipo da β -caseína dos leites. O C18:0 foi o único composto de maior abundância no leite A2A2. Estes resultados estão em consonância com os obtidos no estudo de De Vitte et al. (2022), que investigaram leite de vaca mestiça (Simental x Holandesa) na Lituânia. No entanto, a concentração dos ácidos graxos saturados de cadeia curta (C11:0), média (C13:0) e longa (C22:0 e C24:0) foi menor no leite A2A2, o que não foi observada nas amostras de leite de vaca Guzerá analisadas neste trabalho.

Somente seis ácidos insaturados não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) entre as amostras, sendo eles: C18:1 *trans*-9; C18:1 *cis*-9; CLAS c9,t11; CLAS c12,t10; C20:2 n6 e C20:4 n6. O Leite A2A2 apresentou maior abundância do C16:1, C17:1, C18:1 *trans*-11, C18:1 *cis*-7, C18:2, α -C18:3, C20:1 e C20:3 *cis* n3,6,9, quando comparado ao leite A1A2. O composto γ – C18:3 não foi detectado no leite bovino heterozigoto A1A2. No estudo de De Vitte et al. (2022), foram identificados seis ácidos graxos monoinsaturados e sete ácidos graxos poli-insaturados. Ao contrário deste estudo, todos os compostos tiveram influência significativa ($p < 0,01$) do genótipo A1 e A2 da β -caseína do leite bovino cru. O leite A2A2 quando comparado com o leite A1A2, apresentou maior concentração do 16:1 n7, 17:1 c10, 18:1 c9, 18:1 t9, 18:2-n6, 18:3-n3, 20:4-n6 e 20:5-n3. Perna et al. (2016) também verificaram o efeito da variante da β -caseína em relação ao teor de alguns ácidos graxos insaturados, como o C16:1 *cis*-7, C16:1 *cis*-9, C18:1n-9 (*trans*), C18:2n-6 (*cis+trans*) e C18:3, de leite de vacas holandesas italianas.

Os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e média (AGCM) contribuem para a regulação do metabolismo celular e desempenham um papel importante na sinalização intracelular (Schönfeld et al., 2016). Nos leites analisados neste trabalho, foram encontrados de 2,69 a 3,08 % de AGCC e de 43,90 a 47,06 % de AGCM (Tabela 2). Em derivados lácteos, o C4:0 é o

AGCC mais importante (Gómez-Cortés et al., 2018). Este composto foi encontrado nas duas amostras investigadas. Ele exerce múltiplas funções no organismo, como: contribui na redução de processos inflamatórios, é fonte de energia primária para as células, promove a saúde e integridade do intestino e a saciedade, apresenta atividade antimicrobiana e inibe a carcinogênese do colón (Gómez-Cortés et al., 2018). Ademais, pesquisas científicas evidenciaram que o consumo de AGCM apresentou efeitos positivos no controle de peso e no metabolismo lipídico (Gómez-Cortés et al., 2018; Bohl et al., 2017; Mumme et al., 2015).

Os ácidos graxos de cadeia longa (AGCL) representam quase 50% da abundância do total dos ácidos graxos quantificados nas amostras de leite (Tabela 2). Dentre eles, a atenção deve ser voltada para os poli-insaturados, visto que, diversos estudos têm demonstrado que o seu consumo tem efeitos benéficos à saúde (Mollica et al., 2021), como na redução do risco de doença cardiovascular (Sanders et al., 2006), na redução do avanço do processo aterosclerótico em pacientes com doença coronariana (Lopez et al., 2003), na desaceleração do crescimento do câncer e no aumento a eficácia dos tratamentos quimioterápicos (Hardman et al., 2002), bem como na redução da neuroinflamação e na manutenção da saúde mental (Chao et al., 2020; Eckert et al., 2013). Além disso, alguns destes compostos são considerados antiinflamatórios potentes, capazes de reduzir o risco de resistência à insulina e melhorar os distúrbios associados à obesidade (Mollica et al., 2021).

O leite e seus derivados são algumas das principais fontes de ácidos graxos conjugados (CLAS). Segundo Mollica et al. (2021), o ácido linoleico conjugado-c9, t11 é o principal isômero, sendo encontrado em maior concentração na gordura do leite. Esta informação está de acordo com o obtido neste estudo, visto que os ácidos conjugados CLAS c9, t11 e o CLAS c12, t10 foram detectados nas amostras, e apresentaram teores médios de 0,66% e 0,17%, respectivamente. Não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$) em relação à abundância destes CLAS entre as amostras de leite A1A2 e A2A2. Os CLAS exibem efeitos antitumorais, antiaterosclerose, antidiabéticos e antiobesidade, *in vivo* e *in vitro*, e também modulam o sistema imunológico (Dilzer et al., 2012; Churrua et al., 2009).

4. Conclusão

Os dados exploratórios obtidos neste estudo forneceram informações importantes sobre a influência da variante da β -caseína A1 e A2 nas características físico-químicas e elétricas e na composição dos ácidos graxos de leite bovino cru. O leite A2A2 apresentou maior densidade; teor de gorduras, de proteínas, de sólidos não gordurosos e de sólidos totais, enquanto o leite A1A2 obteve maior valor de pH, teor de água e de cinzas. A espectroscopia de impedância elétrica demonstrou que os leites analisados possuem comportamento elétrico distinto para faixa de frequência avaliada, visto que o leite A2 apresentou maior impedância (módulo, partes real e

imaginária) e menor admitância. Na fração lipídica, foram detectados aproximadamente 32 ácidos graxos nas duas amostras, sendo estes perfis constituídos principalmente por compostos saturados, com destaque para o ácido palmítico. Além disso, as principais diferenças entre o leite A1A2 e A2A2 foram evidenciadas em relação à abundância dos ácidos graxos insaturados. Embora sejam necessários mais estudos com maior amostragem, este trabalho sugere que, os leites de vacas homozigotas e heterozigotas possuem diferenças quanto ao teor de macronutrientes e micronutrientes e que essas informações podem auxiliar os produtores na obtenção de produtos lácteos com características exclusivas e de maior valor agregado. Além disso, esses possíveis marcadores têm potencial para auxiliar as indústrias e os órgãos fiscalizadores futuramente na identificação da autenticidade do leite A2.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a proprietária da fazenda leiteira que doaram as amostras e o Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pela parceria na realização das análises.

6. Referências bibliográficas

Albarella, S.; Selvaggi, M.; D'Anza, E.; Cosenza, G.; Caira, S.; Scaloni, A.; Fontana, A.; Peretti, V.; Ciotola, F. (2020). Influence of the casein composite genotype on milk quality and coagulation properties in the endangered Agerolese cattle breed. *Animals (Basel)*. 10(5):892. <https://doi.org/10.3390/ani10050892>

Barbosa, M.; Souza, A.; Tavares, G.; Antunes, A. (2019). Leites A1 e A2: revisão sobre seus potenciais efeitos no trato digestório. *Segurança alimentar e nutricional*, v. 26, p. e019004-e019004. doi: 10.20396/san.v26i0.8652981

Barnett, M.; McNabb, W.; Roy, N.; Woodford, K.; Clarke, A. (2014). Dietary A1 β -casein affects gastrointestinal transit time, dipeptidyl peptidase-4 activity, and inflammatory status relative to A2 β -casein in Wistar rats. *International journal of food sciences and nutrition*, v. 65, n. 6, p. 720-727. <https://doi.org/10.3109/09637486.2014.898260>

Bertolini, A.; Rossi, G. (2017). Análises físico-químicas e detecção de fraudes em leite tratado termicamente por Ultra Alta Temperatura (UAT) comercializado na Região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal*, v 11(4). p. 374 – 381, 2017.

Bisutti, V.; Pegolo, S.; Giannuzzi, D.; Mota, L. F. M.; Vanzin, A.; Toscano, A.; Trevisi, E.; Ajmone; Marsan, P.; Brasca, M.; Cecchinato, A. (2022). The β -casein (CSN2) A2 allelic variant alters milk protein profile and slightly worsens coagulation properties in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 105(5), 3794–3809. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2021-21537>

Bligh, E. G.; Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37 (8), 911-917. doi: 10.1139/o59-099

Bohl, M.; Bjørnshave, A.; Larsen, M. K.; Gregersen, S.; Hermansen, K. (2017). The effects of proteins and medium-chain fatty acids from milk on body composition, insulin sensitivity and blood pressure in abdominally obese adults. *European journal of clinical nutrition*, 71(1), 76-82. doi: 10.1038/ejcn.2016.207

Brasil. Instrução normativa nº 76, de 26 de novembro de 2018. *Diário Oficial da União*, p. 1–8,2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/52750137/do1-2018-11-30-instrucao-normativa-n-76-de-26-de-novembro-de-2018-52749894IN%2076 . Acesso em: 01 out. 2023.

Brasil. Instrução normativa nº 77, de 26 de novembro de 2018. *Diário Oficial da União*, p. 1–8,2018. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/plano-de-qualificacao-de-fornecedores-de-leite/arquivos-do-pqfl/IN772018QualificodefornecedoresdeleiteatualizadapelaIN5919.pdf>. Acesso em: 01 out. 2023.

Chakraborty, M.; Biswas, K.(2018). Limit of detection for five common adulterants in milk: A study with different fat percent. *IEEE Sensors Journal*, v 18(6). p. 2395 - 2403. doi:10.1109/JSEN.2018.2794764

Chao, O.; Velasco, E.; Pathak, S.; Maitra, S.; Zhang, H.; Duvick, L.; Wickman, K.; Orr, H.; Hirai, H.; Yang, Y. (2020). Targeting inhibitory cerebellar circuitry to alleviate behavioral deficits in a mouse model for studying idiopathic autism. *Neuropsychopharmacology*. 45:1159–1170. doi: 10.1038/s41386-020-0656-5.

Churruca, I.; Fernández-Quintela, A.; Portillo, M. (2009). Conjugated linoleic acid isomers: differences in metabolism and biological effects. *Biofactors*, v. 35, n. 1, p. 105-111. doi: 10.1002/biof.13

Conab-Companhia Nacional de Abastecimento. Conjuntura mensal Especial. Leite e derivados. Abril, 2017. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: 01 set. 2023.

Costa, F.; Maricato, E.; Dias, A.; Baptista E. (2021). Proteínas do soro do leite: propriedades funcionais e benefícios para a saúde humana. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, v. 25, n. 272. <https://doi.org/10.46642/efd.v25i272.691>

Dantas, A.; Kumar, H.; Prudencio, E.; Junior, L.; Orellana-Palma, P.; Dosoky, N.; Nepovimova, E.; Kuca, K.; Cruz-Martins, N.; Verma, R.; Manickam, S.; Valko, M.; Kumar, D. (2013). An approach on detection, quantification, technological properties, and trends market of A2 cow milk. *Food Research International*, v. 167. doi: 10.1016/j.foodres.2023.112690

Dilzer, A.; Park Y. (2012). Implication of conjugated linoleic acid (CLA) in human health. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 52, n. 6, p. 488-513. doi:10.1080/10408398.2010.501409

Eckert, G.; Lipka, U.; Muller W. (2012). Omega-3 fatty acids in neurodegenerative diseases: Focus on mitochondria. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids*. 2013;88:105–114. doi: 10.1016/j.plefa.05.006.

Gómez-Cortés, P.; Juárez, M.; Fuente, M. (2018). Milk fatty acids and potential health benefits: An updated vision. *Trends in Food Science & Technology*, 81: 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.014>

Hardman, W. (2002). Omega-3 fatty acids to augment cancer therapy. *J. Nutr.* 132:3508S–3512S. doi: 10.1093/jn/132.11.3508S

Hartman, L.; Lago, R.C. (1973). Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Lab Pract* 22, 475–476.

Haq, M.; Kapila, R.; Sharma, R.; Saliganti, V.; Kapila, S. (2014). Comparative evaluation of cow β -casein variants (A1/A2) consumption on Th 2-mediated inflammatory response in mouse gut.

- European journal of nutrition, v. 53, n. 4, p. 1039-1049. <https://doi.org/10.1007/s00394-013-0606-7>
- Heck, J. M. L. A.; Schennink, H. J. F.; Van Valenberg, H.; Bovenhuis, M. H. P. W.; Visker, J. A. M.; Van Arendonk, A. C. M.; Van Hooijdonk. (2009). Effects of milk protein variants on the protein composition of bovine milk. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v.92, p.1192-1202. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1208>.
- Ho, S.; Woodford, K.; Kukuljan, S.; Pal, S. (2014). Comparative effects of A1 versus A2 beta-casein on gastrointestinal measures: a blinded randomised cross-over pilot study. *European journal of clinical nutrition*, v. 68, n. 9, p. 994-1000. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2014.127>
- Huang, J.; Zhang, L.; Lan, H.; Zhou P. (2022). How to adjust α -lactalbumin and β -casein ratio in milk protein formula to give a similar digestion pattern to human milk? *Journal of Food Composition and Analysis*, 110, Article 104536. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104536>
- Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo: IMESP; 2008.
- Jianqin, S.; Leiming, X.; Lu, X.; Yelland, G.W.; Ni, J.; Clarke, A.J. (2016). Effects of milk containing only A2 beta casein versus milk containing both A1 and A2 beta casein proteins on gastrointestinal physiology, symptoms of discomfort, and cognitive behavior of people with self-reported intolerance to traditional cows' milk. *Nutr J*. 15:1–16. doi: 10.1186/s12937-016-0164-y
- Jung, T.; Hwang, H.; Yun, S.; Lee, W.; Kim, J.; Ahn, J.; Jeon, W.; Han K. (2017). Hypoallergenic and Physicochemical Properties of the A2-Casein Fraction of Goat Milk: *Korean Journal*, v. 37, n. 6, p. 940-947. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.6.940>.
- Kaplan, M.; Baydemir, B.; Günar, B.; Arslan, A.; Duman, H.; Karav, S. (2022). Benefits of A2 Milk for Sports Nutrition, Health and Performance: *Frontiers*, v. 9, n. 935344, p. 1-8. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2022.935344/full>. Acesso em: 10 set. 2023.
- Kaplan, Y.; Tekerlí, M. (2023). "Genetic parameters of growth, reproductive, and productive characteristics in Anatolian buffaloes," *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*: Vol. 47: No. 3, Article 7. <https://doi.org/10.55730/1300-0128.4289>

Kirk, B.; Mitchell, J.; Jackson, M.; Amirabdollahian, F.; Alizadehkhayat, O.; Clifford, T. (2017). A2 Milk Enhances Dynamic Muscle Function Following Repeated Sprint Exercise, a Possible Ergogenic Aid for A1-Protein Intolerant Athletes?; *Nutrients*; v.9, n. 94, p. 1-14. doi: 10.3390/nu9020094.

Kumar, A.; Kumar, S.; Singh, R.; Chauhan, A.; Kumar, A.; Sonwane, A.; Singh R. (2021). Investigation of genetic polymorphism at β -casein A1/A2 loci and association analysis with production & reproduction traits in Vrindavani crossbred cows. *Animal Biotechnology*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/10495398.2021.1917423>.

Lebrun, I. (2009). Peptídeos bioativos derivados do leite e suas ações no sistema 483 nervoso central. In: Antunes AEC, PACHECO MTB. Leite para adultos: mitos e fatos 484 frente à ciência. São Paulo.

Lima, L.; Santos, I.; Silva, B.; Anjos, V.; Bell, M.; Nascimento, W. (2022). Electrical characterization of milk samples by Electrical Impedance Spectroscopy (EIS): QUARKS, v.4, n.1. p. 24-33. <https://doi.org/10.34019/2674-9688.2022.v4.36763>

Li, X.; Spencer, G.; Ong, L.; Gras, S. (2022). Beta casein proteins—A comparison between caprine and bovine milk. *Trends in Food Science & Technology*, 121, 30-43. doi: 10.1016/j.tifs.2022.01.023

Lopes, A.; Machado, J.; Ramalho, E.; Silva, V. (2017). Milk characterization using electrical impedance spectroscopy and fractional models. *Food Analytical Methods*, 11(3), 901-912. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-1054-4>

López, P.; Ortega, R. M. (2003). Omega-3 fatty acids in the prevention and control of cardiovascular disease. *Eur. J. Clin. Nutr.* 57:S22–S25. doi: 10.1038/sj.ejcn.1601805

Martini, M.; Altomonte, I.; Sodi, I.; Vasylieva, Y.; Salari, F. (2023). Sterol, tocopherol, and bioactive fatty acid differences between conventional, high-quality, and organic cow milk. *Journal of Dairy Science*, 106(12), 8239-8248. doi: 10.3168/jds.2023-23378

Meira, A.; Morais, L.; Paula, M.; Pinto, S.; Resende, J. (2023). Application of electrical impedance spectroscopy for the characterisation of yoghurts: *International Dairy Journal*, v.141, n.105625, p. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105625>

MilkPoint. Criatórios estão selecionando seus plantéis para a comercialização de animais e leite A2A2 2017.

Mollica, M.; Trinchese, G.; Cimmino, F.; Penna, E.; Cavaliere, G.; Tudisco, R.; Musco, N.; Manca, C.; Catapano, A.; Monda, M.; Bergamo, P.; Banni, S.; Infascelli, F.; Lombardi, P.; Crispino, M. (2021). Milk fatty acid profiles in different animal species: Focus on the potential effect of selected pufas on metabolism and brain functions. *Nutrients*, 13(4), 1111. doi: 10.3390/nu13041111

Mumme, K.; Stonehouse, W. (2015). Effects of medium-chain triglycerides on weight loss and body composition: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 115(2), 249-263. doi: 10.1016/j.jand.2014.10.022

Pal, S.; Woodford, K.; Kukuljan, S.; Ho, S. (2015). Milk intolerance, beta-casein and lactose. *Nutrients*, v. 7, n. 9, p. 7285-7297. doi: 10.3390/nu7095339

Pereira, M.; Brumano, L.; Kamiyama, C.; Pereira, J.; Rodarte, M.; Pinto, M. (2012). Lácteos com baixo teor de lactose: uma necessidade para portadores de má digestão da lactose e um nicho de mercado. *Rev. Inst. Latic. "Cândido Tostes"*, Nov/Dez, nº 389, 67: 57-65. doi: 10.5935/2238-6416.20120079

Poulsen, N.; Bertelsen, H.; Jensen, H.; Gustavsson, F.; Glantz, M.; Månsson, H.; André, A.; Paulsson, M.; Bendixen, C.; Buitenhuis, A.; Larsen, L. (2013). The occurrence of noncoagulating milk and the association of bovine milk coagulation properties with genetic variants of the caseins in 3 Scandinavian dairy breeds. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 4830–4842. doi:https://doi.org/10.3168/jds.2012-6422

Ramakrishnan, M.; Eaton, T.; Sermet, O.; Savaiano, D. (2020). Milk Containing A2 β -Casein ONLY, as a Single Meal, Causes Fewer Symptoms of Lactose Intolerance than Milk Containing A1 and A2 β -Caseins in Subjects with Lactose Maldigestion and Intolerance: A Randomized, Double-Blind, Crossover Trial. *Nutrients*. 17;12(12):3855. doi: 10.3390/nu12123855. PMID: 33348621; PMCID: PMC7766938.

Róin, N.; Lokuge, G.; Fredsted, M.; Sundekilde, U.; Larsen, M.; Larsen, M.; Poulsen, N. (2023). Variations in fatty acids, micronutrients and metabolites in discrete milk lines of Danish dairy milk. *International Dairy Journal*, 147, 105786. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105786

Roy, B. (2008). Milk: the new sports drink? a review. *J Int Soc Sports Nutr.* 5:15. doi: 10.1186/1550-2783-5-15

Sanders, T.; Gleason, K.; Griffin, B.; Miller, G. (2006). Influence of an algal triacylglycerol containing docosahexaenoic acid (22: 6n-3) and docosapentaenoic acid (22: 5n-6) on cardiovascular risk factors in healthy men and women. *Br. J. Nutr.* 95:525–531. doi: 10.1079/BJN20051658.

Semwal, R.; Joshi, S.; Semwal, R.; Sodhi, M.; Upadhyaya, K.; Semwal, D. (2022). Effects of A1 and A2 variants of β -casein on human health-is β -casomorphin-7 truly a harmful peptide in cow milk? *Nutrire.* 47:8. doi: 10.1186/s41110-022-00159-7.

Silva, V.; Coelho, A. (2019). Causas, sintomas e diagnóstico da intolerância à lactose e alergia ao leite de vaca. *Revista Saúde UniToledo, Araçatuba, SP, v. 03, n. 01, p. 20-31.* Disponível em: <http://www.ojs.toledo.br/index.php/saude/article/view/2936/476>. Acesso em: 06 set.2023.

Siqueira, K. (2019). O mercado consumidor de leite e derivados. In: Comunicado Técnico EMBRAPA GADO DE LEITE, 120. Minas Gerais. v. 1, p. 17, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1110792/o-mercado-consumidorde-leite-e-derivados>. Acesso em: 06 set. 2023.

Schönfeld, P.; Wojtczak, L. (2016). Short-and medium-chain fatty acids in energy metabolism: the cellular perspective. *Journal of lipid research*, 57(6), 943-954. doi: 10.1194/jlr.R067629

Venn, B.; Skeaff, C.; Brown, R.; Mann, J.; Green, T. (2006). A comparison of the effects of A1 and A2 β -casein protein variants on blood cholesterol concentrations in New Zealand adults. *Atherosclerosis.* 188:175–178. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2005.10.020.

Visentainer, J. (2012) Aspectos analíticos da resposta do detector de ionização em chama para ésteres de ácidos graxos em biodiesel e alimentos. *Quim Nova*, 19, 380-385. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000200008>

Vitte, K.; Kerziene, S.; Klementaviciute, J.; Vitte, M.; Miseikine, R.; Kudlinskiene, L.; Cepaitė, J.; Dilbiene, V.; Stankevicius, R. (2022). Relationship of β -casein genotypes (A1A1, A1A2 and

A2A2) to the physicochemical composition and sensory characteristics of cow's milk. *J. Appl. Anim. Res.* 50:161–166. doi: 10.1080/09712119.2022.2046005.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos e de qualidade avaliados em leite bovino com genótipo A1A2 e A2A2 para o gene da β -caseína.

Parâmetros	Leite	
	A1A2	A2A2
Alizarol 72% (v/v)	Estável	Estável
pH	6,76 \pm 0,01 ^a	6,70 \pm 0,00 ^b
Acidez titulável (% ácido láctico)	0,17 \pm 0,00 ^a	0,18 \pm 0,00 ^a
Densidade relativa a 15°C (g/L)	1,031 \pm 0,00 ^b	1,034 \pm 0,00 ^a
Índice crioscópico (°H)	-0,540 \pm 0,00 ^b	-0,549 \pm 0,00 ^a
Umidade (%)	85,05 \pm 0,66 ^a	82,40 \pm 0,03 ^b
Cinzas (%)	0,75 \pm 0,02 ^a	0,71 \pm 0,02 ^b
Gordura (%)	5,50 \pm 0,12 ^b	5,90 \pm 0,10 ^a
Proteínas (%)	3,50 \pm 0,03 ^b	3,70 \pm 0,02 ^a
Sólidos não gordurosos (%)	9,45 \pm 0,55 ^b	11,70 \pm 0,13 ^a
Sólidos totais (%)	14,95 \pm 0,66 ^b	17,60 \pm 0,03 ^a

(Média \pm desvio padrão). Médias seguidas pela mesma letra na linha não se diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pela ANOVA.

Tabela 2. Perfil de ácidos graxos de leite bovino com genótipo A1A2 e A2A2 para o gene da β -caseína.

Ácidos graxos	Leite	
	A1A2	A2A2
Ácido butírico (C4:0)	0,73 ± 0,02 ^a	0,60 ± 0,07 ^a
Ácido capróico (C6:0)	0,62 ± 0,02 ^a	0,50 ± 0,06 ^a
Ácido caprílico (C8:0)	0,48 ± 0,01 ^a	0,43 ± 0,05 ^a
Ácido cáprico (C10:0)	1,22 ± 0,05 ^a	1,13 ± 0,11 ^a
Ácido undecanóico (C11:0)	0,03 ± 0,03 ^a	0,03 ± 0,00 ^a
Ácido láurico (C12:0)	1,80 ± 0,04 ^a	1,74 ± 0,14 ^a
Ácido tridecanóico (C13:0)	0,05 ± 0,00 ^a	0,08 ± 0,01 ^a
Ácido mirístico (C14:0)	8,40 ± 0,08 ^a	7,01 ± 0,44 ^b
Ácido miristoleico (C14:1)	0,93 ± 0,01 ^a	0,68 ± 0,04 ^b
Ácido pentadecanóico (C15:0)	1,27 ± 0,01 ^a	1,23 ± 0,05 ^b
Ácido palmítico (C16:0)	31,86 ± 0,39 ^a	30,19 ± 0,60 ^b
Ácido palmitoleico (C16:1)	2,75 ± 0,02 ^b	2,97 ± 0,52 ^a
Ácido heptadecanóico (C17:1)	0,81 ± 0,00 ^b	0,96 ± 0,01 ^a
Ácido esteárico (C18:0)	14,84 ± 0,18 ^b	17,86 ± 0,64 ^a
Ácido elaídico (C18:1 <i>trans</i> -9)	0,57 ± 0,05 ^a	0,65 ± 0,11 ^a
Ácido vacênico (C18:1 <i>trans</i> -11)	2,79 ± 0,18 ^b	3,14 ± 0,21 ^a
Ácido oleico (C18:1 <i>cis</i> -9)	26,88 ± 0,18 ^a	26,41 ± 0,68 ^a
Isômero ácido oleico (C18:1 <i>cis</i> -7)	0,60 ± 0,00 ^b	0,73 ± 0,03 ^a
Ácido linoleico (C18:2)	0,98 ± 0,03 ^b	1,16 ± 0,03 ^a
Ácido γ – linolênico (γ – C18:3)	n.d	0,02 ± 0,01 ^a
Ácido α – linolênico (α – C18:3)	0,30 ± 0,01 ^b	0,33 ± 0,01 ^a
Ácido linoleico conjugado-c9, t11 (CLAS c9, t11)	0,67 ± 0,02 ^a	0,66 ± 0,04 ^a
Ácido linoleico conjugado-c12, t10 (CLAS c12, t10)	0,17 ± 0,00 ^a	0,16 ± 0,02 ^a
Ácido araquídico (C20:0)	0,26 ± 0,00 ^a	0,28 ± 0,02 ^a
Ácido eicosenóico (C20:1)	0,03 ± 0,00 ^b	0,05 ± 0,01 ^a
Ácido dihomo α linolênico (C20:3 <i>cis</i> n3,6,9)	0,05 ± 0,00 ^b	0,09 ± 0,01 ^a
Ácido eicosadienóico (C20:2 n6)	0,09 ± 0,01 ^a	0,10 ± 0,00 ^a
Ácido araquidônico (C20:4 n6)	0,11 ± 0,00 ^a	0,12 ± 0,01 ^a
Ácido heneicosanóico (C21:0)	0,05 ± 0,00 ^a	0,04 ± 0,00 ^a
Ácido beênico (C22:0)	0,10 ± 0,00 ^a	0,11 ± 0,01 ^a
Ácido tricosanóico (C23:0)	0,06 ± 0,00 ^a	0,08 ± 0,01 ^a
Ácido lignocérico (C24:0)	0,08 ± 0,01 ^a	0,10 ± 0,01 ^a
Σ AGS	61,85	61,37
Σ AGMI	35,36	35,59
Σ AGPI	2,37	2,64
Σ AGCC	3,08	2,69
Σ AGCM	47,06	43,90
Σ AGCL	49,44	53,05

Dados expressos em %. (Média ± desvio padrão). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pela ANOVA. AGS: Ácidos Graxos Saturados; AGMI: Ácidos Graxos Monoinsaturados; AGPI: Ácidos Graxos Poli-insaturados; AGCC: Ácidos Graxos de Cadeia Curta (C₄-C₁₁); AGCM: Ácidos Graxos de Cadeia Média (C₁₂-C₁₆); AGCL: Ácidos Graxos de Cadeia Longa (C₁₇-C₂₄).; n.d: Não detectado.

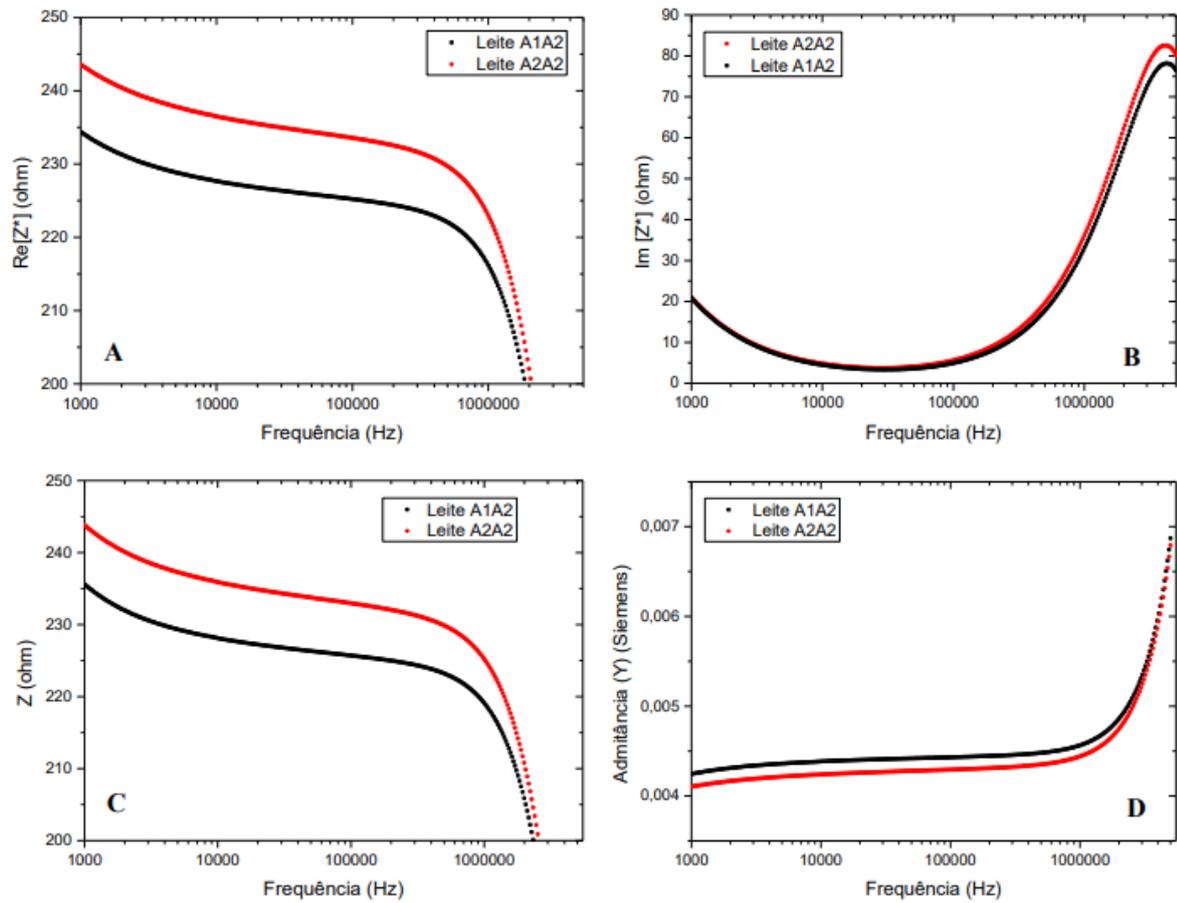


Figura 1. Caracterização elétrica de leites bovino. A) Espectro da parte real da impedância, B) Espectro da parte imaginária da impedância, C) Espectro do módulo da impedância e D) Espectro da admitância, em função da frequência.