

INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS, EDUCAÇÃO E ZOOTECNIA - ICSEZ
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

JOSÉ RAIMUNDO TRINDADE TEIXEIRA

Efeitos dos marcadores genéticos da Beta-caseína na produção leiteira de vacas
mestiças em Parintins, Amazonas

Parintins-AM

2025

JOSÉ RAIMUNDO TRINDADE TEIXEIRA

Efeitos dos marcadores genéticos da Beta-caseína na produção leiteira de vacas mestiças em Parintins, Amazonas

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Graduação do Instituto de Ciências Sociais, Educação e Zootecnia da Universidade Federal do Estado do Amazonas, como um dos requisitos para colação de grau e obtenção do título de Bacharelado em Zootecnia.

Orientadora: Dra. Soraya Farias de Andrade Freitas.

Parintins-AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

T266e Teixeira, José Raimundo Trindade
Efeitos dos marcadores genéticos da Beta-caseína na produção
leiteira de vacas mestiças em Parintins, Amazonas / José
Raimundo Trindade Teixeira. - 2025.
70 f. : il., color. ; 31 cm.


Orientador(a): Soraya Farias de Andrade Freitas.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal do Amazonas, Instituto de Ciências Sociais, Educação e
Zootecnia de Parintins, Curso de Zootecnia, Parintins-AM, 2025.

1. CSN2. 2. leite A2. 3. produtividade. 4. seleção genética. I.
Freitas, Soraya Farias de Andrade. II. Universidade Federal do
Amazonas. Instituto de Ciências Sociais, Educação e Zootecnia de
Parintins. Curso de Zootecnia. III. Título

APROVADO em 01 de dezembro de 2025.

MSc. Franciene Dias Ribeiro

Dr. Antônio Fábio Lopes de Souza

Documento assinado digitalmente
 SORAYA FARIAS DE ANDRADE FREITAS
Data: 11/12/2025 08:35:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Soraya Farias de Andrade Freitas

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, por me dar o presente da vida, a bênção de estar com saúde, e a sabedoria e força para persistir e seguir por este caminho repleto de desafios e alegrias.

Agradeço aos meus familiares, por serem meu alicerce e os pilares que me permitiram chegar até aqui, pelo apoio financeiro e emocional, pelos conselhos, pelo carinho, e por sempre se orgulharem e acreditarem no meu potencial, incentivando e tornando minha jornada mais fácil. Vocês são a principal razão dessa conquista.

A Universidade Federal do Amazonas.

À minha professora e orientadora, Dr^a. Soraya Farias, por todo o ensinamento, pelos conselhos, pela paciência, que foi bastante, pelas críticas construtivas que me fizeram refletir e melhorar continuamente, pelo incentivo e disposição.

Ao senhor Adnamar, proprietário da fazenda Nova Esperança, pela parceria na realização do experimento, disponibilizando o local e seus animais para as coletas.

Aos meus amigos que estiveram presentes em todas as etapas da minha vida acadêmica, sempre me apoiando e incentivando, proporcionando momentos de descontração que tornaram nossa caminhada acadêmica mais leve e alegre.

Ao grupo de extensão Amazonas Leite e alunos de PIBIC e PIBIT que participaram de todo o processo de coleta de dados durante a realização da pesquisa.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização e conclusão de mais esta etapa da minha vida.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças” (Charles Darwin)”

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 PECUÁRIA LEITEIRA NA REGIÃO AMAZÔNICA	18
2.2 NUTRIÇÃO ANIMAL E SEUS IMPACTOS NA EFICIÊNCIA PRODUTIVA DE BOVINOS LEITEIROS	19
2.3 SANIDADE ANIMAL E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO LEITEIRA	21
2.4 INFLUÊNCIA DA AMBIÊNCIA NO DESEMPENHO PRODUTIVO DE BOVINOS LEITEIROS	23
2.5 MARCADORES GENÉTICOS DA BETA-CASEÍNA E SUA RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO LEITEIRA	25
3. OBJETIVOS.....	28
3.1 GERAL.....	28
3.2 ESPECÍFICOS.....	28
4. METODOLOGIA	29
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO	29
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO REBANHO DO ESTUDO	30
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ROTINA E MANEJO ALIMENTAR DOS ANIMAIS	36
4.4 MÉTODOS DE PESAGEM E AVALIAÇÃO CORPORAL DOS ANIMAIS EM ESTUDO	37
4.5 AVALIAÇÃO DE AMBIÊNCIA	38
4.6 CONTROLE REPRODUTIVO PARA SINCRONIZAÇÃO DAS VACAS EM LACTAÇÃO NO ESTUDO	39
4.7 CONTROLE LEITEIRO PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS PRODUTIVOS	39
4.7.1 Caracterização do material de coleta das amostras.....	40
4.7.2 Coleta de amostras de leite in natura	43
4.7.3 Análise de composição do leite	44
4.8 TESTE RÁPIDO DE A2 – SCIENCO BIOTECH.....	45
4.9 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
5.1 FENOTIPAGEM	48

5.2	INFLUÊNCIA DO CONTROLE REPRODUTIVO E OS NÍVEIS DE PRODUÇÃO DE VACAS LEITEIRAS	50
5.3	ASSOCIAÇÃO DA BETA-CASEÍNA COM A PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DE LEITE DOS ANIMAIS EM ESTUDO	52
5.3.1	<i>Associação dos fenótipos da Beta-caseína e a produção de leite (PL)</i> 53	
5.3.2	<i>Associação da Beta-caseína com a composição nutricional do leite</i> 57	
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
7.	REFERÊNCIAS.....	62
8.	ANEXOS	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Propriedade 1	29
Figura 2 - Propriedade 2	30
Figura 3 - Propriedade 3	30
Figura 4 - Vaca 1	31
Figura 5 - Vaca 2	31
Figura 6 - Vaca 3	32
Figura 7 - Vaca 4	32
Figura 8 - Vaca 5	32
Figura 9 - Vaca 6	33
Figura 10 - Vaca 7	33
Figura 11 - Vaca 8	34
Figura 12 - Vaca 9	34
Figura 13 - Vaca 10	34
Figura 14 - Vaca 11	35
Figura 15 - Vaca 12	35
Figura 16 - Vaca 13	36
Figura 17 - Avaliação de condição de escore corporal	37
Figura 18 - Fita de pesagem dos bovinos	37
Figura 19 - Termômetro de Globo Negro	38
Figura 20 - Medição temperatura com o IBUTG	38
Figura 21 - Luvas descartáveis	40
Figura 22 - Máscaras descartáveis	40
Figura 23 - Balde de inox	41
Figura 24 - Concha de inox	41
Figura 25 - Balança portátil digital Original Line®	41
Figura 26 - Termômetro a laser	41
Figura 27 - Termômetro de alimentos	41
Figura 28 - Frascos de coleta esterilizados	42
Figura 29 - Etiquetas	42
Figura 30 - Caixa isotérmica	42
Figura 31 - Termógel	42

Figura 32 - Teste de mastite (CMT).....	43
Figura 33 - Procedimento de coleta de dados. A - Pesagem do balde com leite. B - Aferição de temperatura do leite com o termômetro de laser. C - Aferição de temperatura do leite com o termômetro de alimentos	44
Figura 34 - Procedimento da coleta das amostras. A - Etiquetagem dos frascos com identificação dos animais. B - Coleta do leite para o frasco esterilizado. B - Armazenamento na caixa isotérmica.	44
Figura 35 - Processo de triagem das amostras no laboratório. A - Aferição da temperatura da caixa. B - Acomodação das amostras ao ambiente. C - Aferição da temperatura das amostras de leite.	45
Figura 36 - Procedimento de análise laboratorial. A-Homogeneização da amostra. B- Separação da alíquota de leite. C- Análise da composição do leite.....	45
Figura 37 - Teste Rápido A2 - Scienco Biotech (Fenotipagem).....	46
Figura 38 - Esquema ilustrativo do passo-a-passo da análise de fenotipagem.....	46
Figura 39 - Resultado Teste Rápido A2.	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Desempenho produtivo de vacas com fenótipos A1A1/A1A2 e A2A2...56

Gráfico 2 - Teores médios de composição do leite de vacas A1A1/A1A2 e A2A2...57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição dos fenótipos A1A1/A1A2 e A2A2 da beta-caseína bovino de rebanho comercial Parintins, Amazonas.	48
Tabela 2 - Indicadores reprodutivos do rebanho leiteiro da propriedade do estudo.	50
Tabela 3 - Estatística descritiva, análise de variância (ANOVA) e correlação (r) para as variáveis PL (kg), Ga (%), Pt (%) e Lac (%), referentes aos fenótipos A1A1 e A2A2 da beta-caseína bovina do rebanho em estudo.	52
Tabela 4 - Estatística descritiva para a característica produção de leite (PL) em litros para os fenótipos A1A1/A1A2 e A2A2.....	54

LISTA DE PALAVRAS

BCM-7	Beta-casomorfina-7
CSN2	Beta-caseína
CMT	California Mastitis Test
GA	Gordura
PT	Proteína
LAC	Lactose
PL	Produção leiteira
IBUTG	Termômetro de Globo Negro
WB	Temperatura de bulbo úmido
TPO	Temperatura do ponto de orvalho
UR	Umidade relativa

RESUMO

O mercado de produtos de origem animal enfrenta intensa pressão para se reinventar, impulsionada pela crescente exigência do consumidor por opções que promovam saúde e bem-estar. Assim, o setor lácteo não se torna exceção, destacando-se o leite A2A2 como uma resposta à essa demanda crescente por produtos benéficos. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi investigar fenotipicamente a presença da variante A2 da beta-caseína e sua influência na produção leiteira em rebanhos bovinos da Microrregião de Parintins, Amazonas. Foram coletadas amostras de leite de treze vacas mestiças, oriundas de propriedade leiteira da região, sendo realizado o controle leiteiro para avaliação de produtividade individual dos animais e coletas de amostras de leite para posterior análise. Em seguida, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Biotecnologia do ICSEZ/UFAM, aonde foram fenotipadas através de Teste Rápido A2 da Scienco Biotech®, para a presença da variante A2 da beta-caseína, nos animais de estudo, bem como realizadas análises de composição do leite. A obtenção de dados reprodutivos ocorreu através de anotações de datas dos eventos reprodutivos. Para a análise estatística dos dados, utilizou-se o software SAS (versão 9.4), aplicando-se a análise de variância (ANOVA) com teste de Tukey 5% de probabilidade; considerando o delineamento inteiramente casualizado, considerando os tratamentos, fenótipos A1A1 e A2A2 quanto às variáveis, composição do leite (proteína, gordura e lactose) e produção leiteira (PL). Os resultados revelaram a predominância do fenótipo A2A2 (69,2%) em relação ao fenótipo A1A1/A1A2 (30,8%) na população estudada. Quanto ao controle reprodutivo, verificou-se ausência de registros de eventos, o que dificultou o monitoramento de parâmetros essenciais, refletindo em indicadores de eficiência reprodutiva abaixo do esperado, podendo impactar negativamente o desempenho produtivo dos animais de estudo. Embora a análise estatística não tenha evidenciado diferenças significativas ($p > 0,05$) nos teores de proteína e lactose entre os fenótipos A1A1 e A2A2 da beta-caseína, observou-se diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) para teores de gordura e para a produção de leite, com superioridade do fenótipo A2A2, conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Tal resultado sugere influência fenotípica sobre esses parâmetros produtivos, no entanto, é necessário considerar a atuação de fatores não genéticos, como manejo nutricionais, condições ambientais e limitações operacionais e estruturais da propriedade, que podem interferir nos resultados. Destaca-se que os dados observados são preliminares, demandando continuidade e aprofundamento em pesquisas futuras. Assim, a prevalência do fenótipo A2A2 representa uma oportunidade crucial para programas de melhoramento genético, visando impulsionar a produtividade e a qualidade do leite regional, atendendo à crescente demanda por produtos mais saudáveis e sustentáveis.

Palavras-chave: CSN2; leite A2; produtividade; seleção genética.

ABSTRACT

The market for animal-derived products is under growing pressure to reinvent itself, driven by increasing consumer demand for options that promote health and well-being. The dairy sector is no exception, with A2A2 milk emerging as a notable response to this rising demand for functional products. Against this backdrop, the present study aimed to phenotypically assess the presence of the A2 variant of β -casein and its influence on milk production in cattle herds from the Parintins microregion, Amazonas. Milk samples were collected from thirteen crossbred cows belonging to a local dairy farm. Individual milk yield was monitored through production control, and samples were taken for further analysis. These samples were then sent to the Biotechnology Laboratory at ICSEZ/UFAM, where they were phenotyped using the Scienco Biotech® A2 Rapid Test to detect the presence of the A2 β -casein variant. Additionally, milk composition analyses were performed. Reproductive data were obtained from farm records of reproductive events. For statistical analysis, the SAS software (version 9.4) was used. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) with Tukey's test at a 5% probability level, under a completely randomized design, comparing the A1A1 and A2A2 phenotypes with respect to milk composition (protein, fat, and lactose) and milk yield (MY). The results showed a predominance of the A2A2 phenotype (69.2%) compared with A1A1/A1A2 (30.8%) in the population studied. Regarding reproductive control, no records of reproductive events were found, which hindered the monitoring of key parameters and reflected reproductive efficiency indicators below expectations—potentially affecting the productive performance of the studied animals. Although statistical analysis did not reveal significant differences ($p > 0.05$) in protein and lactose levels between the A1A1 and A2A2 β -casein phenotypes, significant differences ($p < 0.05$) were observed for fat content and milk yield, with the A2A2 phenotype outperforming A1A1, as confirmed by Tukey's test at a 5% probability level. These findings suggest a phenotypic influence on these productive traits; however, it is important to account for non-genetic factors, such as nutritional management, environmental conditions, and operational or structural constraints on the farm, which may also impact outcomes. It is worth noting that these data are preliminary and highlight the need for continued and more in-depth research. Nevertheless, the predominance of the A2A2 phenotype represents a key opportunity for genetic improvement programs aimed at boosting both productivity and milk quality in the region, thereby meeting the growing demand for healthier and more sustainable dairy products.

Keywords: A2 milk; CSN2; genetic selection; productivity.

1. INTRODUÇÃO

A produção leiteira é uma atividade que impulsiona a economia agropecuária brasileira, alcançando volumes expressivos de produção, resultado que reflete a diversidade de sistemas produtivos e a extensão territorial do país. Embora no estado do Amazonas, a produção pouco cresce, com 58.601 mil litros (IBGE, 2024), pois enfrenta desafios estruturais e climáticos que limitam sua competitividade, destacam-se por rebanhos comerciais de vacas mestiças, que combinam rusticidade e produtividade, no entanto, a carência de estudos genéticos sobre esses animais limita o aproveitamento de seu potencial econômico e nutricional.

Cabe ressaltar que, a crescente demanda por lácteos funcionais e saudáveis exige estratégias inovadoras para alcançar a competitividade do setor. Isso ocorre porque o consumidor está cada vez mais exigente e preocupado com sua saúde e bem-estar, sempre em busca de produtos que proporcionem tais benefícios. Logo, o leite A2A2, um produto relativamente recente, vem ganhando cada vez mais destaque no mercado (Pacchiarotti et al., 2020). Neste contexto, a genética emerge como um eixo fundamental para otimizar não apenas a produção, mas também a qualidade do leite, com destaque para a variante A2 da beta-caseína, proteína associada a benefícios digestivos e à redução de riscos inflamatórios em comparação à variante A1. Esta última promove a liberação de um peptídeo bioativo conhecido como Beta-casomorfina-7 (BCM-7), que tem sido associado às várias condições adversas de saúde, incluindo distúrbios digestivos, reações inflamatórias e possíveis influências em doenças autoimunes e neurológicas (Barbosa et al., 2019). Esse aspecto tem impulsionado o crescente interesse pelo leite A2, tanto no mercado quanto na comunidade científica.

Dada a importância dessas diferenças, a seleção genética para reduzir a presença da variante A1 em rebanhos leiteiros e promover a predominância do alelo A2 tem sido amplamente discutida como uma estratégia para melhorar a qualidade nutricional do leite e os benefícios à saúde dos consumidores, assim como selecionar geneticamente rebanhos para que apresentem o alelo A2, trazendo vantagens significativas para a indústria de laticínios, tanto em termos de qualidade do produto quanto pela aceitação pelo mercado.

Pesquisas têm utilizado a genotipagem como ferramenta para identificar a presença e a frequência do alelo A2 nas populações bovinas, por meio de métodos cada vez mais precisos, práticos e economicamente viáveis. A partir dessa identificação, a seleção de animais com o alelo A2 pode ser aplicada de forma direcionada, visando o aumento gradual da frequência dessa variante nos rebanhos.

Contudo, na região Amazônica, caracterizada por rebanhos predominantemente mestiços, ainda são escassos os estudos que contemplem dados consistentes de controle zootécnico, isso deve-se, em grande parte, à ausência de escrituração zootécnicas, caso dos rebanhos comerciais da microrregião de Parintins. Essa ausência de informações zootécnicas dificulta a formulação de estratégias de melhoramento genético alinhadas às demandas emergentes do mercado, especialmente aquelas voltadas à produção diferenciada, com foco em qualidade nutricional e sustentabilidade. Assim, a genotipagem é uma ferramenta que pode auxiliar no planejamento estratégico, mas cuja aplicação depende de diversos outros fatores estruturais e econômicos.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo identificar animais com variante A2 da beta-caseína e sua influência sobre a produção leiteira em rebanhos bovinos na microrregião de Parintins, Amazonas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pecuária leiteira na região amazônica

A produção leiteira no estado do Amazonas é predominantemente estruturada em torno de pequenas propriedades rurais, refletindo um modelo de agricultura familiar (Mota, 2012). Essas atividades se distribuem em dois ecossistemas distintos que caracterizam a região, sendo as áreas de terra firme (áreas não inundáveis) e as várzeas (áreas periodicamente inundáveis), o que impõe desafios e particularidades aos sistemas de manejo adotados (Mota, 2012). Estudos voltados a caracterização das atividades de produção animal no Estado do Amazonas ainda é limitada, o que frequentemente leva à adoção de estratégias baseadas em realidades de outras regiões a serem utilizadas nesse contexto (Mota, 2012).

O manejo na região é predominantemente sobre sistemas extensivos tradicionais, com uso de pastagens naturais ou cultivadas (como *Urochloa*) em áreas de várzea, sujeitas às inundações sazonais, onde a ordenha é manual, e a alimentação do rebanho baseia-se quase exclusivamente no pasto, com escassez na utilização de suplementação mineral ou concentrado (Machado, 2011). É majoritariamente conduzida por pequenos produtores rurais e as estratégias de manejo adotadas variam conforme a disponibilidade de pasto ao longo do ano, o que compromete a produtividade e impacta negativamente a rentabilidade da produção. O incremento dessa produtividade está condicionado a fatores genéticos, sanitários, ambientais e nutricionais, bem como ao nível de conhecimento técnico dos criadores (Paulo et al., 2023).

Entre as práticas de manejo, destaca-se o controle reprodutivo como ferramenta estratégica para a eficiência zootécnica dos sistemas leiteiros. A implementação desse controle permite a detecção precoce de falhas reprodutivas e a adoção de medidas corretivas, favorecendo a manutenção da fertilidade do rebanho (Rauber et al., 2017). Quando realizado de forma contínua, esse processo contribui para a redução do intervalo entre partos, elevação das taxas de concepção e prenhez e diminuição dos custos com inseminação artificial, tratamentos e manejo sanitário (Silva, 2023). Tais resultados ampliam o número de lactações por vaca, aumentam a longevidade do rebanho e otimizam o uso dos recursos disponíveis, refletindo

positivamente na produtividade, na rentabilidade e na sustentabilidade econômica e ambiental da pecuária leiteira (Xavier et al., 2024).

Nos ambientes tropicais, a sobrevivência e o desempenho produtivo estão relacionados à utilização de raças que reúnam rusticidade e resistência, destacando-se as zebuínas, originárias da Índia, como o Gir. Entre as raças mais utilizadas em sistemas tecnificados, destaca-se o Girolando, uma raça sintética desenvolvida no Brasil a partir do cruzamento entre as raças Holandesa e Gir. Essa raça tem ampla aceitação na pecuária leiteira nacional, não apenas por sua elevada produtividade média, em torno de 30 kg de leite por dia, mas também por sua notável adaptação às altas temperaturas características do clima tropical (Associação Brasileira dos Criadores de Girolando, 2024). Além disso, o Girolando é frequentemente empregado em sistemas de baixa tecnificação, sendo, nesses casos, selecionado com maior grau de composição genética zebuína, com predominância do sangue Gir (Frias, 2020).

O Gir Leiteiro, é preferido em sistemas tradicionais por sua capacidade de prosperar em pastagens naturais, mesmo com baixa suplementação, oferecendo 12 quilos de leite ao dia segundo a Associação Brasileira dos Criadores de Gir (EMBRAL, [s.d.]). Por sua vez o Guzerá, menos especializado, mas versátil, é utilizado em sistemas duplo propósito (leite e carne), produzindo 2.194 kg por lactação.

Em relação à infraestrutura, a maioria dos proprietários rurais possui galpões para armazenamento de insumos, currais e acesso total à energia elétrica. Apesar desses avanços, muitos produtores ainda apontam a falta de infraestrutura adequada, estradas e instalações, como um dos principais obstáculos à produção. No que se refere às tecnologias consideradas mais promissoras para melhorar a atividade leiteira, destacam-se a reprodução animal, a nutrição e a inseminação artificial, evidenciando a necessidade de investimentos nessas áreas para o fortalecimento da cadeia produtiva (Paulo et al., 2023). Entre essas tecnologias, a nutrição animal se sobressai como um dos pilares essenciais para garantir não apenas o desempenho produtivo, mas também a saúde e o bem-estar do rebanho leiteiro.

2.2 Nutrição animal e seus impactos na eficiência produtiva de bovinos leiteiros

A nutrição do gado leiteiro é um fator determinante para a produção de leite, influenciando tanto a quantidade quanto a qualidade do produto, pois uma dieta equilibrada, composta por forragens nutritivas, suplementação energética e minerais essenciais, garante um metabolismo eficiente e uma maior produção leiteira. Deficiências nutricionais podem reduzir o volume de leite, afetar sua composição, diminuindo os teores de gordura e proteína, e comprometer a saúde dos animais, resultando em menor fertilidade e maior incidência de doenças metabólicas. Por outro lado, uma alimentação adequada mantém o peso corporal das vacas, melhora a eficiência digestiva e promove um ciclo produtivo mais estável, assegurando maior rentabilidade para o produtor (Olika, 2021).

Segundo Mota et al. (2012), a nutrição do gado leiteiro na região de Parintins, no Amazonas, é fundamentada principalmente em sistemas de pastejo extensivo, adaptados às condições climáticas e ambientais locais, cujas propriedades estão situadas em dois grandes ecossistemas, de terra firme (não sujeita a inundações) e várzeas (regiões periodicamente alagadas). De acordo com Brandão (2023), afirma-se que os produtores adotam estratégias adaptadas ao regime dinâmico de cheias e vazantes, combinando manejo sazonal com suplementação estratégica, e durante a estação seca é comum o deslocamento do rebanho das áreas de terra firme para área de várzeas, onde ainda há resquícios de pasto disponível, embora em quantidade reduzida.

Esse manejo auxilia na manutenção da nutrição mínima necessária ao gado, onde diversas espécies forrageiras típicas das áreas de várzea são utilizadas na alimentação animal. Em seus estudos, Brandão realizou um levantamento feito com criadores locais e validação científica onde identificou tanto gramíneas nativas quanto cultivadas que se adaptam bem ao regime sazonal do ecossistema, entre as principais espécies identificadas estão o capim-canarana-de-pico (*Echinochloa polystachya*) e o capim-canarana-erecta-lisa (*Echinochloa pyramidalis*), o capim-mori, (*Paspalum fasciculatum*), o capim-perimembeca (*Paspalum repens*), o capim-uamã ou navalha, cientificamente *Luziola spruceana*, o capim-arroz-bravo (*Oryza spp.*), por fim, o capim-mojuí ou colônia (*Urochloa mutica*) e o capim-tanner-grass ou brachiaria de brejo (*Urochloa arrecta*).

A escolha e o manejo adequado dessas forrageiras influenciam diretamente a qualidade da dieta do rebanho, o que torna fundamental compreender o valor

energético, proteico e o perfil mineral dessas plantas. Nesse contexto os estudos realizados por Abreu et al. (2006) em solos de várzea do rio Guamá indicam que gramíneas adaptadas à região mantêm altos níveis de minerais essenciais durante o período chuvoso, como fósforo, potássio, sódio, ferro, zinco e cobre, enquanto na seca ocorre aumento relativo de cálcio, magnésio, enxofre, manganês e boro.

Esses minerais são fundamentais para funções metabólicas, imunidade, reprodução e, especialmente, para a síntese proteica em bovinos, incluindo a caseína, principal proteína do leite. A adequada disponibilidade de cálcio e fósforo é crucial para a formação e estabilidade das micelas de caseína e minerais como enxofre e magnésio também influenciam diretamente a eficiência da síntese proteica e energética Tsioulpas et al. (2007).

Apesar disso, animais criados a pasto não recebem todos os minerais essenciais por meio da alimentação natural, tornando necessária a oferta de suplementação mineral e os proprietários costumam utilizar sal mineral para suprir essa demanda, entretanto, a suplementação com concentrados é limitada e o uso de silagem é ausente, o que pode levar a um desequilíbrio nutricional que afeta a saúde dos animais, reduz a produção de leite e compromete a eficiência reprodutiva.

Para mitigar essa situação, a Embrapa Amazônia Ocidental tem incentivado a adoção de práticas mais sustentáveis e integradas, como o sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), por meio de unidades demonstrativas e capacitações. Um exemplo é a Vitrine de Tecnologias Agropecuárias, que apresentou pastagens integradas com espécies nativas como andiroba e açai (Souza, 2021). O sistema contribui para uma dieta mais equilibrada aos animais, melhora a fertilidade do solo e aumenta a eficiência na produção de leite, além de gerar benefícios econômicos e abrir novas oportunidades de mercado sustentável (Vinholis, 2022). Contudo, para que tais sistemas sustentáveis alcancem seu pleno potencial produtivo, é fundamental que a saúde do rebanho seja igualmente priorizada, garantindo que os ganhos nutricionais e ambientais não sejam comprometidos por doenças e infecções (Silva, 2024).

2.3 Sanidade animal e sua influência na produção leiteira

A sanidade animal é um fator crítico para a eficiência produtiva e a qualidade do leite, onde condições climáticas úmidas favorecem a proliferação de patógenos e parasitas, que impactam diretamente a produção e a composição do leite, pois a saúde do rebanho está intrinsecamente ligada ao volume de leite produzido, ao seu perfil nutricional, segurança microbiológica e aptidão para processamento industrial (Nogara, 2022).

A mastite por exemplo é uma das principais doenças que afetam a produção leiteira, e causam diminuição de até 30% na produção diária, além de diminuição de lactose e caseína e aumento de células somáticas (CCS) (Bressan et al., 2000). Caracterizada por uma inflamação do tecido da glândula mamária, pode alterar significativamente a composição do leite e o conteúdo de proteínas, ela afeta o microbioma bacteriano do leite, com mudanças na abundância de certos filos e espécies bacterianas (Khasapane et al., 2023; Steinberg et al., 2022). Essas alterações podem impactar a qualidade do leite e a composição proteica, pois durante a mastite a expressão de certas proteínas (não láctea) é aumentada, o que pode ter um papel protetor na glândula mamária, resultando em uma produção menor e com menor qualidade (Rodrigues et al., 2018).

Dados mais recentes reforçam esses impactos ao demonstrar a extensão da perda produtiva causada pela mastite ao longo da lactação. De acordo com as investigações de Sguizzato et al. (2024), vacas acometidas por mastite de nível 2 apresentaram uma redução mais significativa na produção média de leite (MY) em todos os estágios da lactação analisados com perdas mais acentuadas próximas ao pico, somando cerca de 130 kg a mais do que em casos de mastite de nível 1. Quando ocorre ainda na fase inicial, a mastite de nível 1 pode causar uma perda média de 158 litros de leite, enquanto o nível 2 pode gerar perdas de até 288 litros. Além disso, as estimativas sugerem que a queda na produção pode se iniciar entre 14 e 4 dias antes da manifestação clínica e se prolongar por até 25 dias após o diagnóstico, refletindo o tempo necessário para a recuperação da produção média esperada.

Esses dados corroboram com os resultados obtidos anteriormente por Rajala-Schultz et al. (1999), que já demonstravam o efeito prolongado da mastite sobre a produção leiteira, independentemente do momento de sua ocorrência durante a lactação. Segundo o estudo, a perda diária de produção nas duas primeiras semanas após o episódio de mastite variou entre 1,0 e 2,5 kg, com impacto total ao longo da

lactação variando de 110 a 552 kg, dependendo da ordem de parto e do estágio de lactação. As vacas afetadas não conseguiram retomar os níveis de produção anteriores ao episódio de mastite pelo restante da lactação, evidenciando o caráter persistente da enfermidade na produtividade.

Para minimizar esses impactos, práticas de manejo sanitário são essenciais, como programas de vacinação contra brucelose e tuberculose, que reduzem a transmissão de zoonoses e garantem a qualidade do leite, além disso a implantação de protocolos de higiene na ordenha, como desinfecção de tetos e uso de água tratada, reduz em 60% a incidência de mastite (Bressan et al., 2000). A adoção de manejos sanitários adequados se torna essencial para garantir a saúde dos rebanhos, reduzir perdas econômicas e aumentar a produtividade, essas práticas preventivas são fundamentais para sustentar a produção (Müller, 2002). No entanto, além da saúde sanitária, outro fator decisivo para o desempenho produtivo dos bovinos leiteiros é o ambiente em que estão inseridos.

2.4 Influência da ambiência no desempenho produtivo de bovinos leiteiros

O ambiente em que o gado leiteiro é criado exerce uma influência direta sobre sua produtividade, afetando o bem-estar dos animais, a eficiência alimentar e a qualidade do leite produzido. Fatores como temperatura, umidade, ventilação, conforto térmico, qualidade das instalações e manejo geral desempenham um papel fundamental na regulação do metabolismo e no desempenho produtivo das vacas leiteiras (Silva et al., 2012).

A temperatura ambiente é um dos principais fatores que afetam a produção leiteira, pois vacas leiteiras são animais homeotérmicos e mantêm sua temperatura corporal dentro de um intervalo ideal e quando submetidas a altas temperaturas e elevada umidade relativa, comuns em regiões tropicais como a Amazônia, os animais sofrem estresse térmico (Silva et al., 2012), o que leva à redução do consumo de alimento, aumento da frequência respiratória e queda na produção de leite pois ocorre alterações fisiológicas, como aumento da sudorese e da respiração para dissipar o calor, resultando em um gasto energético maior que poderia ser direcionado para a produção de leite, além disso, vacas estressadas apresentam menor fertilidade e

maior susceptibilidade a doenças, o que compromete a eficiência produtiva do rebanho (Ferreira et al., 2009).

Na região amazônica um fator climático crucial é a umidade relativa do ar, que também influencia diretamente a produção leiteira. Em ambientes com elevada umidade relativa, a capacidade dos bovinos de dissipar calor por meio da evaporação do suor é significativamente reduzida, uma vez que o ar já está saturado de vapor d'água. (Rohleder et al., 2022).

Comportamentalmente, os bovinos adotam estratégias adaptativas que reduzem a produtividade, pois durante os períodos mais quentes, reduzem o pastejo, buscando sombra e alimentando-se apenas no início da manhã ou à noite, o que limita a ingestão nutricional e compromete a produção de leite. Além disso, se agrupam em áreas sombreadas, embora proteja da radiação solar, aumenta a competição pelo espaço e reduz o tempo de descanso e ruminação, fatores essenciais para a produção eficiente. Assim, o estresse térmico impacta negativamente o metabolismo, levando a uma menor conversão alimentar e, conseqüentemente, à queda na quantidade e qualidade do leite produzido. (Souza, 2010)

O Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) é amplamente reconhecido como um dos principais indicadores para avaliar o conforto térmico de vacas leiteiras, especialmente em regiões tropicais. Diversos estudos científicos demonstram que valores elevados de ITGU estão diretamente associados à redução da produção de leite, além de impactar negativamente parâmetros fisiológicos e comportamentais dos animais (Moura et al. 2010).

Como foi constatado na pesquisa de Lemos et al. (2023), com vacas da raça Guzará, que em seus resultados observaram que animais criados sem sombreamento apresentaram ITGU médio (estresse leve) e produção média de 4,8 litros/vaca/dia, enquanto vacas com acesso à sombra tiveram ITGU de baixo (conforto térmico) e produção média de 6,9 litros/vaca/dia, evidenciando a influência direta do índice sobre o desempenho produtivo.

De acordo com Souza (2020), o aumento do ITGU leva a alterações fisiológicas, como elevação da temperatura corporal, aumento da frequência respiratória e redução no consumo de alimentos. Esses fatores resultam em menor disponibilidade de nutrientes para a glândula mamária e, conseqüentemente, menor produção de leite. O estresse térmico também pode afetar o comportamento de

ingestão de água, agravando ainda mais a queda produtiva. Esses estudos reforçam a importância do monitoramento constante do ITGU como ferramenta para o manejo do ambiente de criação e para a adoção de estratégias que visem à melhoria do bem-estar animal e à manutenção da produtividade.

Ainda que o ambiente exerça papel decisivo na produção leiteira, avanços genéticos também têm se mostrado fundamentais para elevar a qualidade e a eficiência da produção.

2.5 Marcadores genéticos da Beta-caseína e sua relação com a produção leiteira

Um dos benefícios mais evidentes da genética na produção leiteira é o aumento da produtividade e qualidade do leite pois nesse cenário destaca-se a beta-caseína, uma das proteínas mais abundantes no leite bovino, que surgiu como resultado de variações genéticas naturais ao longo da evolução dos bovinos (Cruz e Zancanaro, 2021). Estudos indicam que a forma original dessa proteína, conhecida como beta-caseína A2, estava presente em raças antigas de gado, no entanto, há cerca de 8.000 a 10.000 anos, ocorreu uma mutação no gene CSN2, que possui aproximadamente 10,7 kilobases (kb) distribuídas em nove éxons. Essa mutação afeta a transcrição de um RNA mensageiro com cerca de 1.093 pares de bases (pb) na região codificante, responsável pela síntese da beta-caseína, uma das principais proteínas do leite bovino. A proteína final resultante dessa tradução é composta por 209 aminoácidos (Caroli et al., 2009).

Dessa mutação, resultou a variante A1 da beta-caseína bovina, onde ocorre uma substituição de base nitrogenada, caracterizada como um polimorfismo de nucleotídeo único (SNP), que ocorre no éxon 7 do gene CSN2, localizado no cromossomo 6 dos bovinos. Especificamente, essa mutação consiste na troca de uma citosina (C) por uma adenina (A) no códon responsável pela posição 67 da cadeia polipeptídica da beta-caseína. Essa alteração genética leva à substituição do aminoácido prolina por histidina na proteína final, diferenciando as variantes A2 e A1 da beta-caseína (Korhonen; Pihlanto, 2006).

A variante A1 se tornou predominante em raças de alta produção leiteira e sua disseminação ocorreu paralelamente ao avanço da pecuária leiteira. As variantes

alélicas A1 e A2 da beta-caseína estão distribuídas de forma distinta entre as subespécies bovinas, e estudos populacionais demonstram que raças zebuínas apresentam frequências elevadas do alelo A2, geralmente superiores a 90%, com predominância do fenótipo A2A2 (Rangel et al., 2017). Por outro lado, as raças taurinas, revelam maior proporção do alelo A1, sendo comum a ocorrência dos fenótipos A1A1 e A1A2 (Khan et al., 2023).

Essa diferença estrutural, aparentemente sutil, altera a digestão da proteína pois durante a hidrólise intestinal, onde a variante A1 libera o peptídeo beta-casomorfina-7 (BCM-7), associado a possíveis efeitos adversos, como inflamação e desconforto gastrointestinal, conforme destacado por De Noni et al. (2009). A variante A2, por não produzir esse peptídeo é considerada mais segura para indivíduos com sensibilidade digestiva, sendo amplamente promovida como alternativa saudável (Jianqin et al., 2016).

As implicações dessas variantes genéticas na produção e composição do leite são objeto de diversas investigações. Por exemplo, os estudos de Miluchová et al. (2023) apontaram que animais com o fenótipo A2A2 apresentaram maior produção de leite e maior teor de proteína total, enquanto aqueles com o fenótipo A1A1 foram associados a teores ligeiramente mais elevados de gordura. Em contraste, nos estudos conduzidos por Salsabila et al. (2025), a análise comparativa entre os fenótipos A1A1 e A2A2 indicou não haver diferenças estatisticamente significativas na produção diária de leite, nos teores de gordura, proteína e lactose entre os dois fenótipos.

Outros estudos, como o de Zhou et al. (2019), relataram uma associação positiva entre o fenótipo A2A2 e o teor de proteína do leite, e de maneira semelhante, Ristanic et al. (2020) associaram esse fenótipo à maior produção de leite, embora não tenham identificado relação significativa com os teores de gordura e proteína entre os fenótipos A1A1 e A2A2. Esses resultados divergentes podem estar relacionados a uma série de fatores, incluindo variabilidade genética, condições ambientais locais, e o número limitado de indivíduos avaliados.

Diante disso, a necessidade de investigações complementares, especialmente com amostras mais amplas e geneticamente diversas, se faz necessária para que seja feita uma avaliação com maior precisão o papel do fenótipo A2A2 na produção leiteira. Pois essas informações são cruciais para o desenvolvimento de programas de

melhoramento genético que visem aumentar a produção de leite A2, atendendo à demanda crescente por produtos com características específicas que atendam às necessidades de consumidores preocupados com a saúde. (Rodrigues et al, 2023)

O consumidor tornou-se significativamente mais crítico e informado, exigindo transparência, qualidade e alinhamento ético das indústrias e a exigência amplificada impulsionou debates sobre os impactos de substâncias como o BCM-7, e pesquisas alinhadas a essa demanda por produtos mais seguros e adaptados às necessidades modernas. Esse conhecimento científico, somado à pressão de um mercado cada vez mais consciente, culminou no surgimento de iniciativas inovadoras, como a seleção genética para aumentar a frequência do alelo A2 em rebanhos leiteiros (Thiruvengadam, 2021).

A crescente preferência global pelo leite A2 não apenas reflete mudanças nas escolhas dos consumidores, mas está redefinindo profundamente a pecuária leiteira, com destaque aos laticínios, esse movimento tem incentivado produtores a investir na seleção genética de vacas homozigotas (A2A2), impactando diretamente a composição do leite, (Kaminski et al, 2007; Nguyen et al, 2015). Estudos como o de Ng-Kwai-Hang et al. (2002), demonstram que o leite A2 apresenta maior estabilidade térmica, uma característica crítica para processos industriais como pasteurização, pois reduz perdas por desnaturação proteica e otimiza a eficiência produtiva. Além disso, a ausência do peptídeo BCM-7 contribui para menor oxidação lipídica durante o armazenamento, prolongando a vida útil de derivados lácteos e reduzindo desperdícios.

Assim, a genotipagem por A2 cria um ciclo virtuoso, ou seja, impulsiona a modernização da pecuária, oferece vantagens tecnológicas à indústria, atende às exigências de mercado por produtos duráveis e com perfil diferenciado, além de trazer benefícios à saúde humana, redefinindo padrões desde a fazenda até as prateleiras

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Investigar fenotipicamente a presença da variante A2 da Beta-caseína e sua influência na produção leiteira em rebanhos bovinos da Microrregião de Parintins, Amazonas.

3.2 Específicos

- Elaborar um programa de controle reprodutivo para sincronização das lactações das vacas em estudo, visando minimizar os efeitos ambientais e não genéticos sobre os parâmetros avaliados, aumentando a acurácia das estimativas de mérito genético para médio e longo prazo;
- Realizar a fenotipagem da Beta-caseína bovina utilizando o teste rápido do leite A2 em um rebanho comercial, Parintins-AM;
- Avaliar a associação dos fenótipos A1 e A2 da Beta-caseína com a produção de leite de vacas mestiças do rebanho do estudo;
- Avaliar a correlação entre os fenótipos A1A1 e A2A2 com os componentes proteína, gordura e lactose do leite de animais mestiços da presente pesquisa.

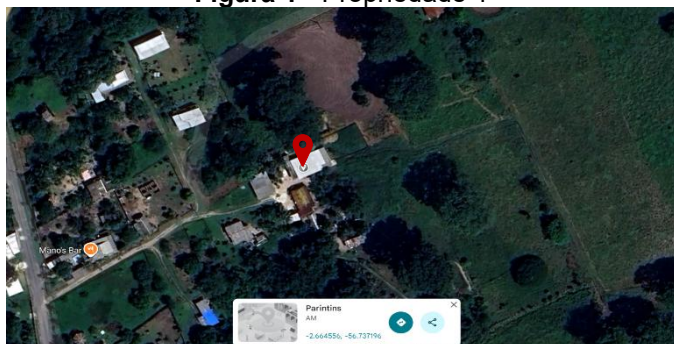
4. METODOLOGIA

4.1 Caracterização do local do estudo

O estudo foi realizado em uma propriedade particular da região, possuindo uma infraestrutura constituída por três unidades, localizadas no município de Parintins-AM. Foram coletadas 191 amostras de leite de vacas mestiças, no período de agosto de 2024 a junho de 2025, sendo as amostras analisadas através do Laboratório de Biotecnologia do Instituto de Ciências Sociais, Educação e Zootecnia (ICSEZ) da Universidade Federal do Amazonas, Campus Parintins. Os animais foram realocados entre as fazendas ao longo do experimento, em função da disponibilidade de forragem, o que exigiu a inclusão de diferentes unidades produtivas no planejamento inicial. Sendo a atividade principal das propriedades a produção e comercialização de leite *in natura*, razão pela qual não foi possível padronizar todas as práticas de manejo, visto que não havia autonomia da equipe de pesquisa para alterar as rotinas já estabelecidas.

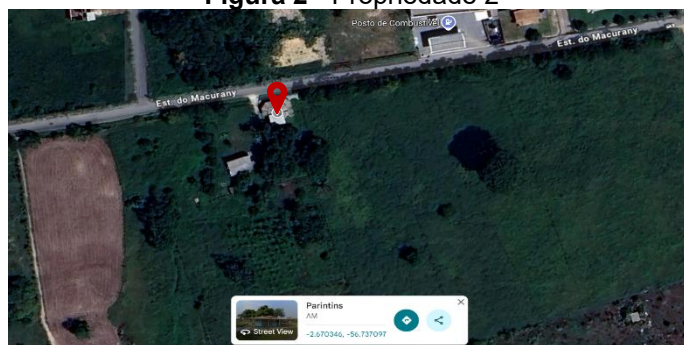
A maioria das coletas foi realizada na propriedade situada na comunidade do Macurany (Propriedade 1), na área rural do município. Em função da escassez de forragem no período de estiagem (outubro a dezembro de 2024), parte dos animais foi deslocada para outras duas propriedades, uma também localizada na comunidade do Macurany (Propriedade 2) e outra situada na zona urbana (Figura 3). Nos meses subsequentes, com o início do período chuvoso, o deslocamento foi reduzido, concentrando novamente os animais na propriedade principal.

Figura 1 - Propriedade 1



Fonte: Google Maps (2025).

Figura 2 - Propriedade 2



Fonte: Google Maps (2025).

Figura 3 - Propriedade 3



Fonte: Google Maps (2025).

Entre as propriedades avaliadas, a propriedade 1, com 2,57 hectares, localizada na comunidade do Macurany, foi a principal unidade experimental, por concentrar os animais avaliados por período mais prolongado. Esta propriedade dispõe de sala de ordenha, curral coberto para alimentação, sala para organização de utensílios e sistema de pastejo rotacionado com 24 piquetes de 20 m x 40 m, permitindo o uso diário de um piquete distinto. No entanto, com presença de bebedouro e cocho de alimentação apenas na instalação de ordenha fazendo os animais se deslocarem mais para consumo de alimento e hidratação. Em comparação, as propriedades 2 (Macurany) e 3 (zona urbana) apresentam infraestrutura mais simples, com curral coberto e piquetes de pastagem.

4.2 Caracterização do rebanho do estudo

O rebanho é composto por 44 animais mestiços, consistindo em 22 matrizes, 17 bezerros, 3 novilhos, 1 vitela e 1 novilha. Para coleta de dados, foram selecionadas treze matrizes mestiças, sendo que o critério de seleção adotado considerou vacas em lactação e com permanência na propriedade durante o período experimental. Para

fins de identificação, os animais selecionados foram numerados de 1 a 13. Essa seleção foi fundamental para a identificação e análise dos problemas de manejo, uma vez que alguns animais eram frequentemente transferidos entre as propriedades.

Assim, a seguir serão apresentados os treze animais em estudo:

A vaca 1 (Figura 4), apresentou condição de escore corporal classificada como baixa, conforme avaliação realizada pelo equipamento Vetscore®, com peso de 505 kg. Ao final de seu controle leiteiro, o teste de CMT não indicou mastite subclínica. Com cinco meses de lactação registrados durante o experimento.

Figura 4 - Vaca 1



Fonte: Matos (2024).

A vaca 2 (Figura 5), apresentou escore corporal adequado, com peso de 592 kg, e não foi diagnosticada com mastite subclínica ao final do período de controle leiteiro. Com nove meses de lactação registrado durante o experimento.

Figura 5 - Vaca 2



Fonte: O autor (2024).

A vaca 3 (Figura 6), apresentou escore corporal classificado como adequado, com peso de 566 kg, e foi diagnosticada com mastite subclínica ao final de seu período de controle leiteiro. Com onze meses de lactação registrados durante o experimento.

Figura 6 - Vaca 3



Fonte: O autor (2024).

A vaca 4 (Figura 7) apresentava lesão grave no casco da pata posterior direita, apesar dessa condição foi observado escore corporal adequado e peso de 644 kg. Ao final do período de controle leiteiro, foi detectada a presença de mastite subclínica por meio de teste de CMT. Com sete meses de lactação registrados durante o experimento.

Figura 7 - Vaca 4



Fonte: Matos (2024).

A vaca 5 (Figura 8) apresentou baixa condição de escore corporal, peso de 548 kg e não foi diagnosticada com mastite subclínica ao final do seu período de controle leiteiro. Com quatro meses de lactação registrados durante o experimento.

Figura 8 - Vaca 5



Fonte: Ferreira (2025).

A vaca 6 (Figura 9) apresentou escore corporal baixo, com peso de 497 kg, e foi diagnosticada com mastite subclínica ao final do período de controle leiteiro. Com cinco meses de lactação registrados durante o experimento.

Figura 9 - Vaca 6



Fonte: O autor (2025).

A vaca 7 (Figura 10) apresentou condição de escore corporal adequado, peso de 476 kg e não foi diagnosticada com mastite subclínica ao final do seu período de controle leiteiro. Com sete meses de lactação registrados durante o experimento.

Figura 10 - Vaca 7



Fonte: O autor (2025).

A vaca 8 (Figura 11) apresentou condição de escore corporal adequado, peso de 555 kg e não foi diagnosticada com mastite subclínica ao final do seu período de controle leiteiro. Com onze meses de lactação registrados durante o experimento.

Figura 11 - Vaca 8



Fonte: O autor (2025).

A vaca 9 (Figura 12), apresentou baixa condição de escore corporal, peso de 465 kg e foi diagnosticada com mastite subclínica ao final do seu período de controle leiteiro. Com quatro meses de lactação registrados durante o experimento.

Figura 12 - Vaca 9



Fonte: O autor (2025).

A vaca 10 (Figura 13), apresentou condição de escore corporal adequado, peso de 533 kg e não foi diagnosticada com mastite subclínica ao final do seu período de controle leiteiro. Com quatro meses de lactação registrados durante o experimento.

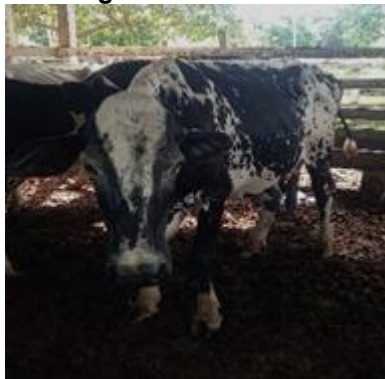
Figura 13 - Vaca 10



Fonte: O autor (2025).

A vaca 11 (Figura 14) apresentou condições de escore corporal adequado, peso de 512 kg e foi diagnosticada com mastite subclínica ao final do período de controle leiteiro. Registrou apenas dois meses dentro do período de experimento.

Figura 14 - Vaca 11



Fonte: O autor (2025).

A vaca 12 (Figura 15) apresentava condições de escore corporal adequado, peso de 538 kg e foi diagnosticada com mastite subclínica ao final do período de controle leiteiro. Registrou apenas dois meses dentro do período de experimento.

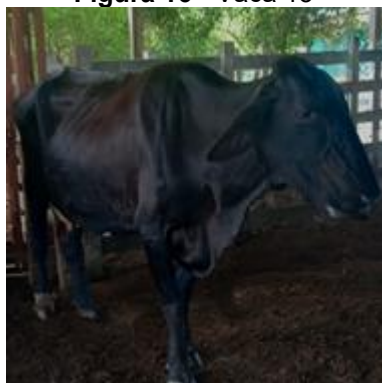
Figura 15 - Vaca 12



Fonte: O autor (2025).

A vaca 13 (Figura 16), apresentou escore de condição corporal adequado, com peso de 526 kg e não teve diagnóstico de mastite subclínica ao final do seu período de controle leiteiro. Registrou apenas um mês dentro do período de experimento.

Figura 16 - Vaca 13



Fonte: O autor (2025).

Os dados referentes as vacas 1 a 10 foram incluídos na análise estatística, enquanto as vacas 11,12 e 13 foram excluídas devido ao número insuficiente de controle leiteiro, o que poderia inviabilizar a consistência dos resultados. Para esses animais, realizou-se apenas a fenotipagem, com o intuito de identificar o respectivo fenótipo da beta-caseína.

4.3 Caracterização da rotina e manejo alimentar dos animais

No início do estudo (agosto e setembro), a rotina de manejo na fazenda consistia em ordenha às 4h, seguida de acesso aos piquetes pela manhã e segunda ordenha pela tarde, com subsequente liberação para os piquetes para aguardo da ordenha no dia seguinte. Posteriormente, adotou-se rotina de ordenha somente matinal, liberação para pastagem, retorno ao curral para aleitamento dos bezerros e, em seguida, novo acesso aos piquetes até a ordenha do dia seguinte.

A fazenda apresenta pastagem composta pelo capim Mombaça (*Panicum Maximum jacob.*), forragem do gênero *Panicum Maximum*, que se encontram em baixa produção e com partes degradadas devidos fatores ambientais, constituem a principal fonte de alimentação dos animais.

Assim, com o objetivo de mitigar a baixa disponibilidade de forragem em áreas de terra-firme e evitar o deslocamento dos animais, a propriedade adota suplementação alimentar, utilizando BRS Capiacu (*Cenchrus purpureus*) triturado e ração, além do auxílio de capim triturado e silagem de milho em meses de baixa disponibilidade de pastagem. Essa estratégia visa manter o escore corporal dos animais e, conseqüentemente, a produção leiteira.

4.4 Métodos de pesagem e avaliação corporal dos animais em estudo

A avaliação da condição corporal (ECC), foi realizada uma vez ao mês, através do Vetscore® (Figura 17), equipamento que indica a classificação nutricional do animal por meio de um sistema de cores (vermelho, baixa condição de escore; verde, condição de escore adequada; amarelo, condição de escore alta), auxiliando no ajuste do manejo alimentar e na otimização da produtividade (Embrapa, 2014).

Figura 17 - Avaliação de condição de escore corporal



Fonte: Souza (2024).

Para determinação do peso corporal, empregou-se a fita de pesagem (Figura 18) específica para bovinos, graduada em quilogramas (kg), sendo essa metodologia aplicada devido sua praticidade e portabilidade, além da falta de equipamento de pesagem (balança) na propriedade. Sendo realizado a contenção dos animais, para posterior posicionamento da fita, contornando o perímetro torácico logo atrás da pata dianteira. A leitura foi efetuada no ponto de intersecção da fita, registrando-se o valor correspondente em quilogramas (kg) para cada categoria animal, sendo os dados anotados na ficha de controle leiteiro.

Figura 18 - Fita de pesagem dos bovinos.



Fonte: O autor (2025); Ferreira (2025).

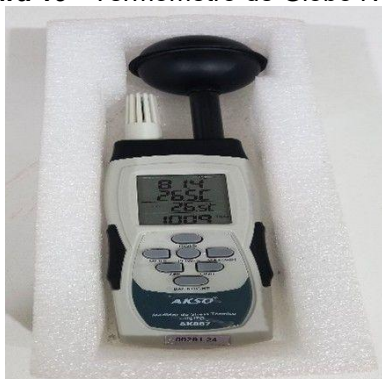
4.5 Avaliação de ambiência

A avaliação dos parâmetros de conforto térmico foi realizada por meio de um Medidor de Estresse Térmico (IBUTG) modelo AK887, da marca Akso (Figura 19), configurado para uso interno na sala de ordenha (modo Indoor), ambiente em que não há incidência direta de radiação solar. As mensurações foram realizadas nos horários de ordenha, abrangendo o início, o meio e o final da linha de ordenha.

O equipamento permite a aferição de diferentes variáveis ambientais, tais como: temperatura de globo negro (GT), que indica a radiação térmica; temperatura de bulbo úmido (WB), que reflete a umidade relativa do ar; temperatura do ponto de orvalho (DPT); temperatura de bulbo seco, correspondente à temperatura do ar, e as temperaturas máxima e mínima do ambiente; além de captura de dados de umidade relativa (UR).

Para a coleta dos dados, o aparelho foi posicionado a, no mínimo, um metro de distância do piso, a fim de evitar interferências nos registros. Essa altura foi adotada para representar com maior precisão a zona térmica à qual os animais estão expostos e para minimizar possíveis distorções causadas por superfícies refletivas ou fontes de calor próximas, que poderiam superaquecer o IBUTG (Figura 20). Ao final de cada aferição, os dados foram salvos, gerando um número de registro para controle.

Figura 19 - Termômetro de Globo Negro



Fonte: O autor (2025).

Figura 20 - Medição temperatura com o IBUTG.



Fonte: O autor (2025)

Com base nos dados ambientais obtidos durante as ordenhas ao longo do período experimental, foi calculado o Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU), cuja média foi de 83,04, indicando condições de estresse térmico para os animais. Através da fórmula de Buffington et al., (1981):

$$ITGU = tg + (0,36 * tpo) + 41,5$$

TPO = Temperatura do Ponto de Orvalho em °C;

TG = Temperatura do Globo Negro em °C.

4.6 Controle reprodutivo para sincronização das vacas em lactação no estudo

Embora a propriedade possuísse caráter comercial, não eram realizados controles zootécnicos, o que dificultava o acompanhamento produtivo e reprodutivo, bem como a adoção de estratégias de melhoria do desempenho animal. Assim, com o intuito de sincronizar a fase de lactação dos animais do estudo, podendo diminuir seus intervalos de lactação, foi implementado um sistema de controle reprodutivo, por meio coleta de datas de eventos reprodutivos, sendo registradas as datas de cio, coberturas, partos e períodos de secagem, possibilitando a construção de um histórico mínimo reprodutivo.

Cada vaca foi identificada por características visuais associadas a um número de controle, permitindo o acompanhamento individual dos animais. A reprodução foi realizada por monta natural, condição que exige maior monitoramento dos eventos reprodutivos e, devido à limitação de mão de obra disponível, contribuiu para deficiências nos registros. A implementação da cultura de coleta de dados reprodutivos, é realizada gradualmente, com a orientação da real importância dessa prática, de modo a favorecer o estabelecimento de estratégias corretivas a médio e longo prazo na propriedade. Podendo padronizar a lactação das vacas do controle, contribuir para a redução do intervalo entre partos e o aumento da eficiência reprodutiva e produtiva dos animais avaliados.

4.7 Controle leiteiro para obtenção dos parâmetros produtivos

Durante o período de coleta, foi implementado um sistema de controle leiteiro nas propriedades estudadas, com foco na coleta e análise de dados para obtenção

dos parâmetros produtivos que serão avaliados na associação com os fenótipos, além da otimização da produção e ganho de rebanho.

O controle leiteiro foi introduzido gradualmente, iniciando com o treinamento da equipe responsável pela coleta e análises correspondentes, assim como, os funcionários das fazendas. Os animais não apresentavam identificação individual, sendo está realizadas através de características que permitiram o acompanhamento da produção e condições do animal.

O registro foi realizado semanalmente durante os meses de agosto a dezembro, modificando-o para um controle quinzenal nos meses de janeiro a junho. Ocorrendo a mensuração do peso do leite de cada vaca ordenhada, e posterior anotação dos dados na ficha de controle leiteiro, que serão apresentadas adiante.

Com os dados obtidos no controle, foi analisada a produção durante o ciclo de lactação (curva de lactação).

4.7.1 Caracterização do material de coleta das amostras

Foram realizadas coletas de amostras de leite tendo com base no manual de coleta de acordo com a Rede Brasileira de Controle de Qualidade do Leite (RBQL), garantindo a qualidade e precisão dos resultados. Inicialmente, organizou-se os materiais em caixas higienizadas, com materiais para cada processo da coleta. Sendo apresentado a seguir cada componente utilizado na coleta.

Os equipamentos de proteção individual (EPIs), como luvas descartáveis (Figura 21) e máscaras descartáveis (Figura 22), foram utilizadas durante a higienização do local de coleta e no ato da coleta, a fim de prevenir a contaminação da amostra de leite por microrganismos.

Figura 21 - Luvas descartáveis.



Fonte: O autor (2025).

Figura 22 - Máscaras descartáveis.



Fonte: O autor (2025).

Os materiais para controle leiteiro, como o balde de *inox* (Figura 23) utilizado durante a ordenha manual, contribuindo para o armazenamento do leite e facilitando o processo de higienização entre as ordenhas; a concha *inox* (Figura 24), foi utilizada para retirada da amostra de leite; a balança portátil digital Original Line® (Figura 25) foi utilizada para a pesagem do leite, e determinar a produção de leite dos animais.

Figura 23 - Balde de *inox*.



Fonte: O autor (2025).

Figura 24 - Concha de *inox*.



Fonte: O autor (2025).

Figura 25 - Balança portátil digital Original Line®.



Fonte: O autor (2025).

O material de aferição de temperatura, foi utilizado o termômetro a *laser* (Figura 26) que permite realizar a aferição de temperatura sem contato direto com o leite e a caixa isotérmica e o termômetro de alimentos (Figura 27), utilizando imersão no interior do balde de *inox*.

Figura 26 - Termômetro a laser.



Fonte: O autor (2025).

Figura 27 - Termômetro de alimentos.



Fonte: O autor (2025).

O material de anotação de dados, foi utilizado a ficha de controle leiteiro (anexo 1), um registro zootécnico essencial para monitoramento produtivo individual de vacas em lactação, contendo dados como: identificação dos animais, tempo de ordenha (início e final), produção diária (kg), temperatura do leite, resultado do teste mastite subclínica (CMT).

Os materiais de coleta, como os frascos esterilizados (Figura 28) sendo abertos somente no momento da coleta do leite, garantindo a proteção contra contaminação por microrganismos; e as etiquetas (Figura 29) utilizadas para identificação dos animais, contém um código de barras que identifica a propriedade, a numeração do animal, a data e a hora da coleta, sendo fixadas em cada frasco de coleta para garantir o controle das amostras.

Figura 28 - Frascos de coleta esterilizados



Fonte: O autor (2025).

Figura 29 - Etiquetas.



Fonte: O autor (2025).

Os materiais para o transporte e armazenamento das amostras, como a caixa isotérmica higienizada (Figura 30) empregada para o armazenamento apropriado das amostras de leite, evitando a exposição a temperatura ambiente, e promovendo a temperatura do leite abaixo de 7°C; e o termógel (Figura 31) inserido na caixa isotérmica para manter a temperatura do leite durante o transporte, desde a coleta até a chegada ao laboratório.

Figura 30 - Caixa isotérmica.



Fonte: O autor (2025).

Figura 31 - Termógel.



Fonte: O autor (2025).

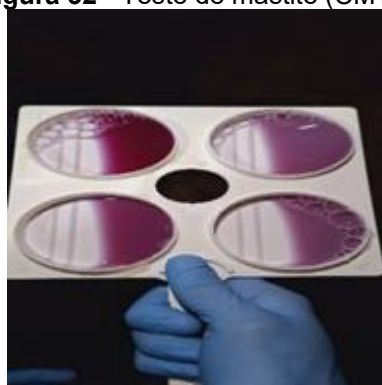
4.7.2 Coleta de amostras de leite *in natura*

Antecedendo o procedimento de coleta de amostras, era realizado a lavagem das mãos com água e sabão, utilização de luvas descartáveis e higienização dos equipamentos. Os frascos de coleta eram padrão Rede Brasileira de Controle de Qualidade do Leite (RBQL) esterilizados no laboratório de Biotecnologia do ICSEZ/UFAM, através de Luz UV, no entanto, sem o uso de conservantes. Em seguida, durante a coleta, os frascos foram identificados a numeração da vaca, além de ocorrer a organização das fichas de controle leiteiro.

A higienização dos tetos era realizada com água corrente, seguido da secagem dos tetos com papel toalha de folha dupla, e posteriormente, sendo realizado o teste de mastite (CMT), para subsequente realização da coleta do leite em um frasco limpo e seco, o qual será encaminhado ao laboratório para a fenotipagem dos animais através do teste rápido de leite A2.

O teste de mastite (CMT) foi feito em cada animal e o resultado registrado na ficha de controle leiteiro. Sendo realizado após despejar os três primeiros jatos de leite e consistiu em misturar 2 mL da amostra de leite com o CMT, observando a formação de um gel (Figura 32). A intensidade da reação indica o nível de células somáticas no leite, sendo esse um indicador da presença de mastite subclínica.

Figura 32 - Teste de mastite (CMT).



Fonte: O autor (2025).

Após, deu-se seguimento a ordenha de forma ininterrupta, sendo o leite retirado depositado no balde de *inox*, sendo pesado, utilizando a balança portátil Original Line®, e aferindo a temperatura com o auxílio do termômetro a *laser* e de alimento (Figura 33).

Figura 33 - Procedimento de coleta de dados. A - Pesagem do balde com leite. B - Aferição de temperatura do leite com o termômetro de laser. C - Aferição de temperatura do leite com o termômetro de alimentos



Fonte: Ferreira (2025).

Na coleta do leite, agitou-o suavemente com a concha por três minutos, sem formar espuma, coletando a amostra sem sujeira, transferindo-o para o frasco identificado. Logo após, higienizavam-se a concha e o balde para iniciar a coleta de outro animal, garantindo a limpeza e a segurança do processo. Por fim, as amostras eram armazenadas em caixa isotérmica com os termógeis, de modo a conservar suas características físico-químicas, sendo levadas até o Laboratório de Biotecnologia do ICSEZ/UFAM, campus Parintins, para posterior análise de composição do leite e fenotipagem (Figura 34).

Figura 34 - Procedimento da coleta das amostras. A - Etiquetagem dos frascos com identificação dos animais. B - Coleta do leite para o frasco esterilizado. B - Armazenamento na caixa isotérmica.



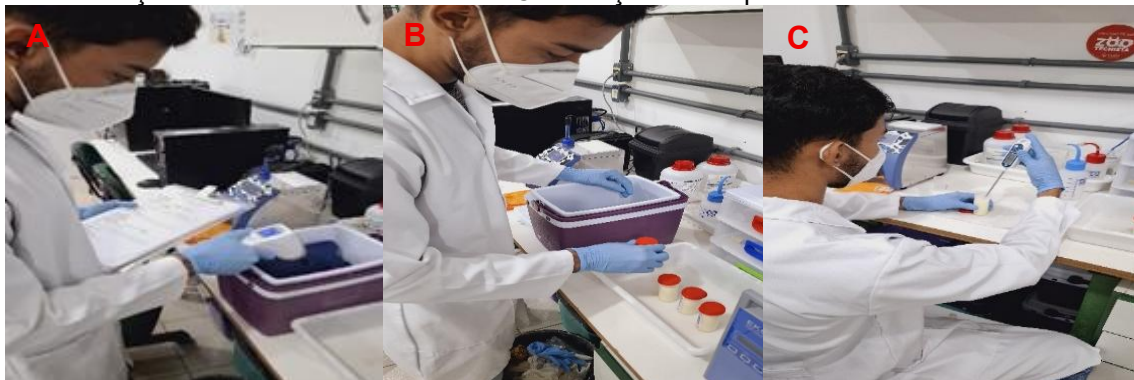
Fonte: Ferreira (2025).

4.7.3 Análise de composição do leite

As amostras passaram por um processo de triagem, no laboratório de Biotecnologia, averiguando a temperatura e integridade (Figura 35), sendo aceitáveis temperaturas não superiores a 7°C. Em seguida eram homogeneizadas, sendo

realizados movimentos de tombamento por 14 vezes, sendo este essencial para assegurar a uniformidade das amostras e precisão dos resultados.

Figura 35 - Processo de triagem das amostras no laboratório. A - Aferição da temperatura da caixa. B - Acomodação das amostras ao ambiente. C - Aferição da temperatura das amostras de leite.



Fonte: Ferreira (2025).

Utilizou-se o equipamento S PFP analisador ultrassônico de leite, da CapLab, para quantificar parâmetros como gordura, proteína e lactose. A configuração do equipamento precedeu a análise, sendo retirada uma alíquota da amostra de leite para posterior avaliação de sua composição, com posterior obtenção dos resultados, e subsequente lavagem do sistema de análise do equipamento ao fim das análises. Após a realização das análises, foi realizado a anotação e organização dos dados obtidos em uma planilha no programa Microsoft Excel® (Figura 36).

Figura 36 - Procedimento de análise laboratorial. A-Homogeneização da amostra. B- Separação da alíquota de leite. C- Análise da composição do leite.



Fonte: Ferreira (2025).

4.8 Teste rápido de A2 – Scienco Biotech

Após a coleta, o material foi acondicionado em caixas isotérmicas contendo termogéis e transportadas ao laboratório de Biotecnologia do ICSEZ/UFAM, onde foi submetido ao Teste Rápido A2 - Scienco Biotech® (Figura 37), seguindo as especificações do fabricante. O kit utilizado é composto por quatro componentes

principais, sendo estes a solução de diluição, a pipeta descartável, conta-gotas e cassete, permitindo a identificação do polimorfismo genético por meio da detecção da proteína expressa no leite.

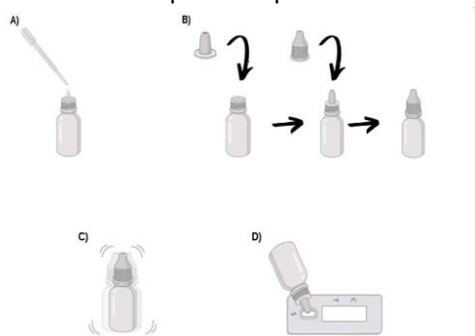
Figura 37 - Teste Rápido A2 - Scienco Biotech (Fenotipagem).



Fonte: O autor (2025).

O procedimento seguiu rigorosamente as instruções do fabricante, iniciando-se com a homogeneização da amostra de leite para garantir a uniformidade das amostras. Em seguida, com o auxílio da pipeta adicionaram-se 10 gotas de leite ao tubo contendo o diluente, que foi então vedado como conta-gotas e agitado por 10 segundos em movimento rotacional para garantir a completa miscibilidade da solução. A etapa subsequente consistiu na deposição de duas gotas da mistura diluída no poço de amostra do cassete de teste, o qual foi posicionado em superfície plana para evitar interferências na leitura dos resultados.

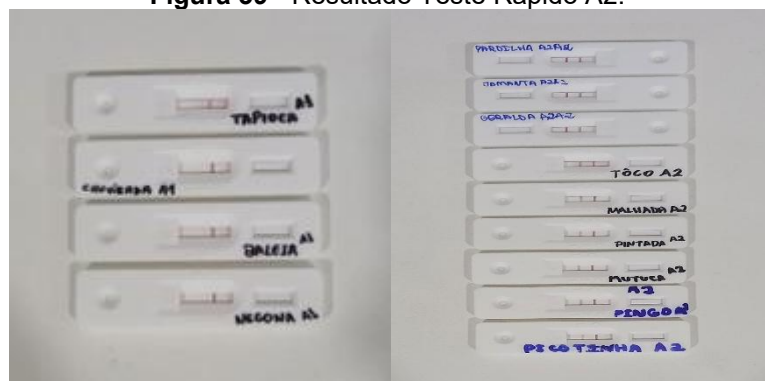
Figura 38 - Esquema ilustrativo do passo-a-passo da análise de fenotipagem.



Fonte: Scienco Biotech (2024).

Após vinte minutos de espera, baseado na quantidade de linhas presentes no teste, permitiu fenotipar as amostras, identificando no cassete, que a presença de uma linha indicou que a vaca era A1A1/A1A2 e duas linhas A2A2. Conforme demonstrado abaixo (Figura 39). Todas as etapas foram realizadas em condições ambientais controladas, garantindo a confiabilidade dos dados obtidos.

Figura 39 - Resultado Teste Rápido A2.



Fonte: O autor (2025).

A metodologia adotada tem sensibilidade e especificidade de 100% conforme validação do fabricante, sendo utilizado em estudos de triagem populacional, como demonstrado por Diogo et al. (2023) em rebanhos mestiços com diferentes graus de sangue Holandês x Gir no município de Rio Branco no Acre. A escolha desse teste justifica-se pela sua portabilidade, rapidez do diagnóstico e concordância de 100% com os métodos de genotipagem tradicionais, conforme o fabricante Scienco Biotech (2023) em estudo de validação metodológica.

4.9 Delineamento experimental e análise estatística

Foi utilizado o programa Microsoft Excel® para armazenamento dos resultados, permitindo a melhor organização dos dados tanto de produção quanto de reprodução, de modo a facilitar a geração de relatórios técnicos que auxiliam o produtor na sua tomada de decisão.

Devido à natureza do banco de dados, que apresentou estrutura desbalanceada (número desigual de observações por grupo genotípico e variáveis de controle), utilizou-se um modelo linear misto generalizado (GLMM), capaz de ajustar os efeitos fixos e aleatórios mesmo na presença de desbalanceamento.

A análise estatística foi realizada no software SAS (versão 9.4.), utilizando-se o pacote PROC GLM para a estimação dos parâmetros. Considerando o delineamento inteiramente casualizado, e aplicando o método ANOVA com teste de Tukey a 5% de probabilidade, a partir dos tratamentos A1A1 e A2A2, e as variáveis de composição de leite (proteína, gordura e lactose) e produção de leite, em litros. Além disso, foram obtidas medidas descritivas como médias e desvio-padrão, e foi realizada análise de correlação linear.

O modelo linear misto generalizado (para cada variável resposta) adotado foi o seguinte:

$$Y_{ijklmn} = \mu + G_i + OL_j + FL_k + \beta_1 \cdot IDADE_l + a_m + \varepsilon_{ijklmn}$$

Onde:

Y_{ijklmn} : valor observado da variável resposta (proteína, gordura, lactose e produção de leite)

μ : média geral

G_i : efeito fixo do genótipo (A1, A2)

OL_j : efeito fixo da ordem de lactação (1ª, 2ª, 3ª, ...)

FL_k : efeito fixo da fase de lactação (início, pico, final)

$\beta_1 \cdot IDADE_l$: efeito da covariável idade da vaca

$a_m \sim N(0, \sigma_a^2)$: efeito aleatório do animal (pedigree)

$\varepsilon_{ijklmn} \sim N(0, \sigma^2)$: erro aleatório

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Fenotipagem

Com base nos resultados obtidos dos diagnósticos através do Teste Rápido de A2 – Scienco Biotech®, foi possível identificar o percentual de 30,77% da presença dos animais heterozigotos A1A1/A1A2 da beta-caseína na amostra populacional estudada, enquanto os animais A2A2 apresentaram o percentual de 69,23%, como apresentado na tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição dos fenótipos A1A1/A1A2 e A2A2 da beta-caseína bovino de rebanho comercial Parintins, Amazonas.

Fenótipos	Resultados	(%)
A2A2	9	69,23
A1A1/A1A2	4	30,77
Total de vacas	13	100%

Fonte: O autor (2025).

Assim, dos animais analisados, 69,23% apresentaram o fenótipo A2A2 da beta-caseína, com capacidade de produção de leite A2 e transmissão hereditária dessa característica. Este resultado é relevante tanto para pessoas sensíveis às reações

gastrointestinais associadas à digestão da beta-caseína A1 quanto para o produtor, uma vez que amplia a disponibilidade de leite com reduzido potencial alergênico.

A ausência de discriminação entre os fenótipos A1A1 e A1A2 nos dados, devido não haver a total identificação dos fenótipos heterozigotos através dos testes, limita inferências mais precisas quanto à frequência alélica no rebanho. No entanto, os resultados já indicam uma tendência positiva à propagação do alelo A2, o que pode estar vinculado a práticas seletivas de reprodução ou ao perfil genético intrínseco da população bovina estudada.

Embora a amostra populacional seja insuficiente, a tendência de prevalência do fenótipo A2A2 em animais mestiços, como observado no estudo, corrobora achados de outras pesquisas. Diversos autores evidenciam a elevada frequência do alelo A2 da beta-caseína em raças zebuínas, destacando seu potencial para a produção de leite do tipo A2. Estudos indicam incidência expressiva desse alelo nas raças Gir, Guzerá e Sindi, com frequências que alcançam até 98%, refletindo a predominância do fenótipo A2A2 (Lima, 2014; Lima; Lara, 2015; Pacchiarotti et al., 2020). Em raças taurinas, como a Crioula Lageana, verificou-se maior frequência do alelo A2, ainda que em proporções inferiores às observadas em zebuínos (Pereira, 2018). Resultados semelhantes foram relatados por Diogo et al. (2023), os quais, empregando o teste rápido de leite A2 – Scienco Biotech®, também utilizado no presente estudo, analisaram amostras de leite de 30 vacas de diferentes graus de sangue Holandês × Gir e identificaram 14 animais A2A2 (46,6%) e 16 animais A1A1 (53,4%). Em concordância, Goulart e Costa (2024), avaliando 30 animais das raças Jersey, Holandesa, Girolando e cruzamentos, por meio do mesmo teste, relataram a presença de 7 indivíduos A2A2 (23,33%) e 23 A1A1 (76,67%). Esses achados reforçam a tendência de ocorrência do genótipo A2A2 em diferentes raças e sistemas produtivos, embora sua prevalência ainda seja inferior à do genótipo A1A1, evidenciando a necessidade de programas de seleção voltados ao aumento da frequência do alelo A2. Esses resultados reforçam a importância da seleção genética para esse alelo, tanto pelos potenciais benefícios à saúde pública quanto pela possibilidade de agregação de valor à cadeia produtiva, especialmente por meio da certificação A2A2 (Sousa, 2022).

Assim, os resultados da presente pesquisa indicam a relevância da seleção genética para o alelo A2 da beta-caseína, tanto para programas de melhoramento genético quanto para atender a demanda crescente por leite A2, especialmente no

mercado atual que priorizam cada vez mais os produtos com benefícios à saúde. Estudos como o de Barbosa et al. (2019) e Corbucci (2017) corroboram esses achados, associando a beta-caseína A1 a potenciais efeitos adversos à saúde humana e a beta-caseína A2 a melhor digestibilidade e menor incidência de desconforto gastrointestinal, resultando em maior aceitação e demanda por leite A2. Desse modo, a utilização de raças adaptadas ao clima tropical, aliada à seleção para o alelo A2, proporcionam aos produtores da região a otimização de sua produção, redução de custos e produtos mais saudáveis.

Os resultados do presente estudo demonstram que mesmo com a amostra populacional reduzida, a predominância do A2A2 fornece informações preliminares para continuidade de um programa de melhoramento genético do rebanho comercial na região, podendo fornecer maiores índices produtivos, quando supridas suas exigências nutricionais, de bem-estar, e sanidade, podendo assim expressar seu real potencial produtivo.

5.2 Influência do controle reprodutivo e os níveis de produção de vacas leiteiras

Os valores dos parâmetros registrados no controle reprodutivo e percentual dos indicadores reprodutivos do rebanho do estudo, estão ilustrados na tabela 2.

Tabela 2 - Indicadores reprodutivos do rebanho leiteiro da propriedade do estudo.

Indicadores Reprodutivos	Valores dos parâmetros	Resultado (%)
Total de Matrizes Registradas	13	100
Vacas em Lactação (VL%)	7	53,85
Vacas em Secagem (VS%)	6	46,15
Taxa de parto	3	23,08
Taxa de prenhez	-	-
Diagnóstico de cio/cobertura	-	-
Intervalo Entre Partos	-	-

(-) Não apresenta dados.

Fonte: O autor (2025)

Observa-se a existência de falhas no controle reprodutivo, evidenciadas pelas lacunas no preenchimento dos registros da propriedade. Tais ausências de informações comprometem o monitoramento adequado do rebanho, refletindo em

baixa eficiência reprodutiva e podendo impactar negativamente o desempenho produtivo dos animais (Da Silva, 2023).

Assim, essa baixa eficiência reprodutiva do rebanho, é refletida em taxa de parto de 23,1%, valor inferior aos recomendados para sistemas de produção leiteira. De acordo com Silva (2023), rebanhos de leite eficientes devem apresentar intervalo entre partos em torno de 12 a 14 meses, o que implica taxas de concepção e parição superiores às observadas neste estudo, sendo que o ideal seria de 75% de partos ao ano, de modo que valores menores que 40% indicam deficiências de manejo. Da mesma forma, Xavier et al. (2024) recomenda que taxas de prenhez mensais estejam acima de 35%, assegurando adequado desempenho reprodutivo e produtivo. Assim, a baixa taxa de partos registrada compromete a reposição de vacas em lactação, impactando diretamente a produtividade e a sustentabilidade econômica da atividade. A falta de controle reprodutivo compromete o diagnóstico precoce de falhas e está associada ao prolongamento do intervalo entre partos e ao aumento dos dias em aberto, reduzindo o número de lactações por vaca ao longo da vida produtiva (Xavier et al., 2024).

A proporção de vacas secas observada, de 46,2%, também se encontra acima do recomendado, entre 15% e 25% em sistemas de produção contínua, comprometendo a oferta de leite e elevando os custos de manutenção, uma vez que esses animais permanecem em consumo de recursos sem retorno produtivo (Bergamaschi et al., 2010).

Outro aspecto limitante refere-se à ausência de informações sobre taxa de prenhez, diagnóstico de cio/cobertura e intervalo entre partos, em decorrência da limitada disponibilidade de mão de obra na propriedade, o que gera falhas no monitoramento e registro de eventos reprodutivos. A falta de registros representa uma fragilidade no processo de gestão, dificultando tanto a tomada de decisão pelo produtor quanto a comparação com indicadores de referência utilizados em sistemas leiteiros tecnificados. Conforme ressaltam Rauber et al. (2017), a adoção de estratégias de monitoramento reprodutivo, como diagnósticos precoces de gestação e controle detalhado dos eventos reprodutivos, é fundamental para corrigir falhas e otimizar os índices do rebanho.

Adicionalmente, condições ambientais e nutricionais adversas, como pastagens degradadas e altas temperaturas e umidade, como evidenciadas no estudo, podem ter contribuído para o baixo desempenho reprodutivo. O estresse

térmico afeta a função reprodutiva ao reduzir a liberação de hormônios gonadotróficos, prejudica o desenvolvimento folicular e aumentar a mortalidade embrionária, resultando em queda das taxas de concepção (Rocha et al., 2012).

Diante desse cenário, a medida de implementação deste programa de controle reprodutivo na propriedade torna-se necessário, contemplando registros rotineiros de cio, cobertura, diagnóstico de gestação e parição, permitindo assim, a melhor análise dos parâmetros reprodutivos, e favorecendo o estabelecimento de estratégias corretivas a médio e longo prazo. Conforme destacado por Rauber et al. (2019), ao destacarem a eficiência reprodutiva como pilar fundamental para a sustentabilidade da pecuária leiteira, por estar diretamente associada à produtividade e à longevidade das vacas no rebanho. Ressalta-se que os dados obtidos neste estudo representam informações iniciais para a estruturação de um programa de monitoramento e avaliação de animais portadores dos fenótipos A1A1/A1A2 e A2A2.

5.3 Associação da Beta-caseína com a produção e composição de leite dos animais em estudo

Constam na tabela 3 os resultados referentes as análises estatísticas das variáveis produção de leite (kg); proteína; gordura; e lactose, correlacionadas aos fenótipos A1A1 e A2A2 da beta-caseína.

Tabela 3 - Estatística descritiva, análise de variância (ANOVA) e correlação (r) para as variáveis PL (kg), Ga (%), Pt (%) e Lac (%), referentes aos fenótipos A1A1 e A2A2 da beta-caseína bovina do rebanho em estudo.

Variáveis	Tratamentos		C.V. (%) A1A1	C.V. (%) A2A2	Correlação (r)
	Média A1A1	Média A2A2			
PL	5,53 ^{a1} ±2,41	6,59 ^{a2} ±2,49	43,52%	37,88%	0,2
Pt	3,02 ^{a1} ±0,22	3,04 ^{a1} ±0,16	7,47%	5,32%	0,05
Ga	3,79 ^{a1} ±1,33	4,28 ^{a2} ±1,25	35,29%	29,23%	0,18
Lac	4,58 ^{a1} ±0,31	4,61 ^{a1} ±0,22	6,89%	4,81%	0,06

Médias seguida de exponencial diferente indica que houve diferença estatística, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Variáveis analisadas: Produção de leite (PL), Proteína (Pt), Gordura (Ga), Lactose (Lac). Tratamento: Fenótipo A1A1 e Fenótipo A2A2. C.V.: Coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2025).

De acordo com avaliação da produção de leite, observou-se diferença estatística significativa entre os genótipos avaliados, conforme o teste de Tukey a 5%

de probabilidade. Vacas com genótipo A2A2 apresentaram maior média de produção (6,59 kg) em relação ao grupo A1A1 (5,53 kg), indicando um desempenho produtivo superior para o alelo A2 sobre as condições deste estudo.

Resultados semelhantes foram encontrados para o teor de gordura, com valor médio de 4,28% nas vacas A2A2, significativamente maior do que os 3,79% observados no grupo A1A1, conforme evidenciado por exponenciais distintos nas médias. Essa diferença reforça o potencial produtivo do genótipo A2A2 não apenas em volume, mas também na qualidade do leite, considerando que o teor de gordura é um dos principais componentes valorizados na indústria de laticínios.

Para as variáveis proteína e lactose, ambos os fenótipos apresentaram médias aproximadas de 3,02% e 3,04% para A1A1, e 4,58% e 4,61% A2A2, respectivamente, não havendo diferença significativa entre os tratamentos.

Os coeficientes de variação (CV) foram considerados baixos para proteína e lactose, e moderados para gordura e produção de leite, indicando maior variabilidade nessas últimas.

O coeficiente de correlação entre as variáveis analisadas apresentou valores positivos, porém baixos, variando de 0,05 a 0,20, sugerindo fraca associação linear entre os fenótipos e as variáveis analisadas de forma isolada, o que é esperado, considerando que se trata de variáveis com influências fisiológicas e genéticas distintas.

Esses achados indicam que o fenótipo A2 está positivamente associado à maior produção e maior teor de gordura no leite, características de interesse tanto econômico quanto nutricional, sem comprometer os demais atributos de qualidade, podendo orientar futuras decisões de seleção genética em rebanhos mestiços, sobretudo em sistemas tropicais como os encontrados na região Norte, onde as condições ambientais podem amplificar ou reduzir os efeitos genéticos observados.

5.3.1 Associação dos fenótipos da Beta-caseína e a produção de leite (PL)

A análise dos dados revelou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) na produção de leite (PL) entre os fenótipos A1 e A2 da beta-caseína, conforme demonstrado pelo teste de Tukey. A média da produção de leite foi superior nos animais A2A2 em relação aos animais A1A1, resultando em um aumento de 1,06 kg

associado ao fenótipo A2A2 (Tabela 2). Esse resultado corrobora com Heck et al. (2009), que relataram aumento de 0,62 kg/dia na produção de vacas A2A2 em comparação com A1A1 em rebanhos holandeses. De forma semelhante, Ristanic et al. (2020), ao analisarem vacas Holstein, também registraram maior produção de leite em animais A2A2, reforçando a consistência desse padrão em diferentes populações genéticas e condições de manejo. Em concordância, estudos conduzidos por Lima (2014) que observou em 156 animais leiteiros zebuínas Gir e Guzerá que apresentaram elevada frequência do alelo A2, e médias aproximadas de produção de leite, 12,79 para Gir e 11,13 para Guzerá, demonstrando que animais zebuínos apresentam maior capacidade produção de leite em litros e com menor potencial alergênico.

Embora a análise de variância tenha revelado diferença significativa, o coeficiente de variação, 43,52% para A1A1 e 37,88% para A2A2, evidencia variabilidade individual, sugerindo que fatores externos como manejo nutricional e condições ambientais, podem influenciar a expressão desse potencial genético. Ressalta-se que o sistema de produção em pastejo, aliado as características climáticas da região amazônica, pode ter contribuído para a elevação do CV observado.

O estudo evidenciou que animais A2A2 apresentaram maiores médias de produção, e níveis máximos e mínimos como demonstrados na tabela 4.

Tabela 4 - Estatística descritiva para a característica produção de leite (PL) em litros para os fenótipos A1A1/A1A2 e A2A2.

Fenótipos	Média PL	D.P.	Máxima	Mínima
A1A1/A1A2	5,5	2,4	11,09	0,955
A2A2	6,6	2,5	13,38	0,995

PL: Produção de leite; D.P.: Desvio-padrão.

Fonte: O autor (2025).

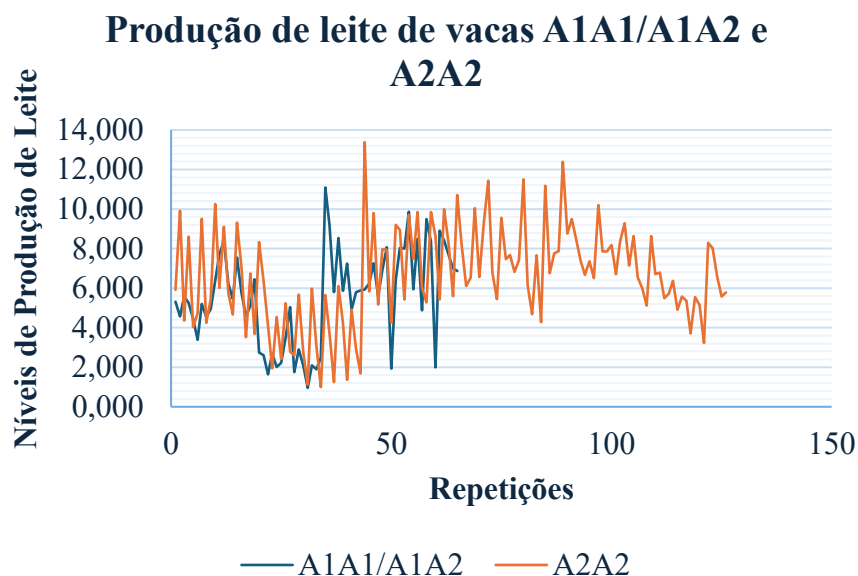
Os animais com fenótipo A2A2 apresentaram produção máxima de 13,38 kg e mínima de 0,995 kg (Gráfico 2), enquanto aqueles com fenótipo A1A1 registraram valores de máximos e mínimos de 11,09 kg e 0,955 kg (Gráfico 1), respectivamente. A menor produção observada pode estar relacionada, ao menos em parte, às condições ambientais às quais os animais estavam submetidos, considerando-se que a região apresenta elevados índices de temperatura e umidade relativa. Durante o

experimento foi verificado que as condições ambientais chegaram a médias de $83,04 \pm 9,12$, caracterizadas por índices de temperatura do globo e umidade (ITGU) estando na faixa de perigo térmico (79-84), conforme classificação de Baêta e Souza (2010). Esse cenário ambiental adverso favorece a ocorrência de estresse térmico, conhecido por limitar o desempenho produtivo e alterar a composição do leite, impedindo que os animais expressem plenamente seu potencial genético. Apesar dessas limitações ambientais, os indivíduos A2A2 mantiveram maior estabilidade produtiva, o que sugere uma possível vantagem adaptativa deste fenótipo em ambientes tropicais. Tal desempenho pode ser atribuído à presença de genética provenientes de raças zebuínas no processo de seleção, os quais conferem maior rusticidade e tolerância ao calor, como evidenciado no estudo de Silva et al. (2021) que avaliou a produção de leite em 14 vacas zebuínas, Gir, Sindi e Guzolando, em condições de pastagens tropicais. A raça Guzolando apresentou maior produção de leite (20,02 kg/dia), que as raças Gir (9,60 kg/dia) e Sindi (8,15 kg/dia), indicando que o cruzamento pode ser uma estratégia vantajosa para aumentar a produção leiteira em climas tropicais.

Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a hipótese de que o fenótipo A2A2 possui um perfil produtivo mais consistente, mesmo sobre condições de estresse ambiental, revelando-se como uma alternativa promissora para sistemas de produção leiteira em regiões de clima quente e úmido.

Essa discrepância na produção individual entre os animais também pode ser parcialmente explicada pelo número de controles leiteiros registrados por vaca, visto que os animais com fenótipo A2A2 apresentaram maior quantidade de controles em comparação aos A1A1, com evidenciado no gráfico 1.

Gráfico 1 - Desempenho produtivo de vacas com fenótipos A1A1/A1A2 e A2A2.



Fonte: O autor (2025).

Esse fato está relacionado à maior frequência do alelo A2 na população avaliada e à maior persistência de lactação observada nos indivíduos A2A2, o que sugere um desempenho superior em termos de produção ao longo do tempo. Nesse sentido, Kumar et al. (2021) identificaram a presença dos fenótipos A1A1, A1A2 e A2A2, com frequências variáveis em populações mestiças. A análise desses estudos mostrou associação entre o fenótipo A2A2 e maior duração da lactação, no entanto, o fenótipo A1A1 se correlacionou com maior produção diária de leite e maior teor de gordura. Devendo haver maiores estudos e continuação do controle leiteiro afim de estabelecer um controle mais concreto da produção dos animais, sendo que o realizado no experimento seria apenas o inicial.

Além disso, essa discrepância nos números de controle leiteiros de determinados fenótipos pode vir a ser influenciados pela baixa eficiência reprodutiva da propriedade, apresentada na tabela 2, tornando maiores os intervalos entre partos dos animais, diminuindo o número de partos por animal, e ocasionando uma lacuna na produção, limitando a reposição de vacas em lactação.

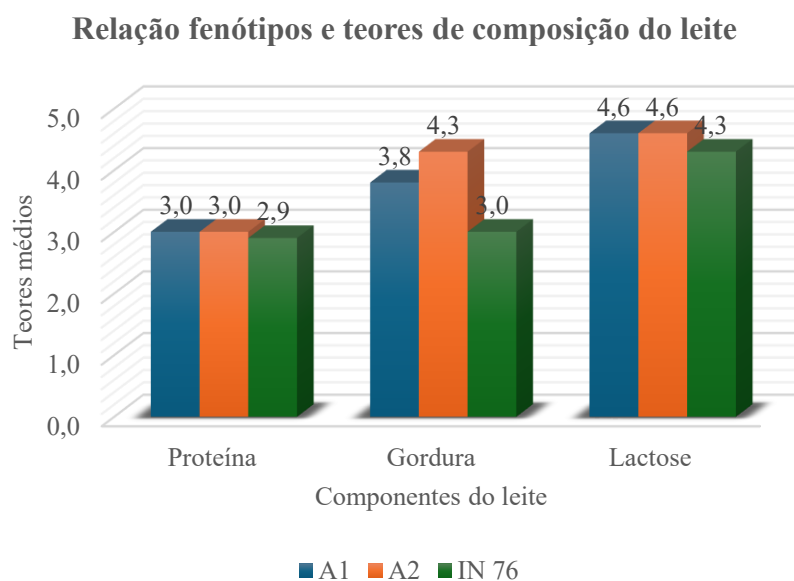
De acordo com Corbucci (2017), a seleção de animais com a variante A2 da CSN2 pode resultar em maior produção de proteína e leite, além de, em alguns casos, aumentar a produção de gordura. Essa prática também pode reduzir a prevalência da variante A1 e seus impactos negativos, sem afetar os índices de desempenho leiteiro.

5.3.2 Associação da Beta-caseína com a composição nutricional do leite

Para proteína e lactose, não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$), com médias de 3,02% e 3,04% de proteína e 4,58% e 4,61% de lactose nos grupos A1A1 e A2A2, respectivamente. Em contrapartida, a gordura apresentou diferença estatística ($p < 0,05$), sendo superior nos animais A2A2 (4,28%) em comparação aos A1A1 (3,79%), conforme determinado pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 3).

A avaliação da composição do leite em relação aos fenótipos A1A1 e A2A2 da beta-caseína demonstrou resultados distintos entre os parâmetros analisados, como demonstrado no gráfico 2.

Gráfico 2 - Teores médios de composição do leite de vacas A1A1/A1A2 e A2A2.



Fonte: O autor (2025).

De acordo com o gráfico 2, os valores médios de componentes nutricionais do leite superam limites mínimos estabelecidos pela Instrução Normativa nº 76/2018 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), sendo proteína com 2,9 g/100 g, gordura 3,0 g/100 g, e lactose 4,3 g/100 g. Isso evidencia que, mesmo diante das limitações estruturais e ambientais da propriedade, a produção manteve-se dentro dos padrões de qualidade exigidos, demonstrando o potencial de utilização da seleção genética como ferramenta de suporte, desde que associada a práticas de manejo adequadas.

A ausência de diferença significativa no teor de proteína (tabela 3) pode ser atribuída à forte influência de fatores ambientais e de manejo sobre sua síntese, os quais tendem a mascarar a contribuição genética. A fase de lactação é um dos elementos determinantes, visto que em estágios avançados ocorre aumento na concentração de sólidos em razão da redução do volume secretado e do desgaste das células alveolares, comprometendo a eficiência de síntese proteica (Noro et al., 2006). As condições ambientais observadas também representaram fator limitante, uma vez que os animais foram expostos a estresse térmico, com Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU) com média de $83,04 \pm 9,12$, faixa classificado como de risco para estresse térmico pelo National Weather Service – USA. De acordo com Neto e Bittar (2018), o estresse térmico compromete o metabolismo basal dos animais, direcionando energia para a termorregulação e reduzindo a ingestão alimentar, o que impacta negativamente a produção e a qualidade do leite. Além disso, a presença de maior concentração de gordura está associada a diminuição de teores de proteína, como pode ser evidenciado no presente estudo. Assim, a alimentação a pasto, sem suplementação concentrada, pode ter restringido a disponibilidade de aminoácidos essenciais, resultando em valores semelhantes entre os fenótipos (Walker, 2023).

Para a lactose, a estabilidade dos teores observados reflete a importância desse carboidrato na regulação osmótica da glândula mamária, característica que o torna menos sensível a variações genéticas e ambientais (Peres, 2001). Apesar disso, a literatura apresenta resultados divergentes. O estudo realizado por Rangel et al. (2017) em que se pode observar teor de lactose superior no leite de Gir, com média de 4,61%, em comparação a Guzerá, com 4,55%, indicando uma maior estabilidade na composição de lactose na raça Gir, enquanto a diferença foi estatisticamente significativa, reforçando as particularidades fisiológicas de cada raça na composição de seu leite. Enquanto Albarella et al. (2020) não identificaram diferença significativa entre fenótipos, obtendo médias próximas a 4,69%, sugerindo que o polimorfismo da beta-caseína não tem um impacto direto e mensurável na concentração de lactose. No presente estudo, embora tenham sido relatados casos de mastite no rebanho, a manutenção dos teores dentro da normalidade sugere que a genética pode ter contribuído para maior resistência a enfermidades mamárias (Lima et al., 2016).

No caso da gordura, a diferença significativa entre os genótipos reforça a hipótese de que a variante A2 da beta-caseína influencia o metabolismo lipídico da

glândula mamária. Tal efeito pode estar relacionado à persistência de lactação em animais A2A2, favorecendo maior produção a longo prazo e elevando as concentrações lipídicas no leite. A dieta fornecida, predominantemente composta por forragem, também pode ter contribuído para esses resultados, uma vez que dietas ricas em fibras favorecem a biohidrogenação ruminal e a formação de ácidos graxos voláteis, que são precursores da síntese de gordura láctea (Walker, 2023). Embora distúrbios sanitários, como mastite, possam reduzir os teores de gordura (Allothman et al., 2019), os valores encontrados indicam que os animais apresentaram boa adaptabilidade às condições de manejo.

Os resultados obtidos no estudo corroboram parcialmente a literatura existente. Enquanto Sousa et al. (2024) observaram teores mais elevados (4,05%) em animais A2A2, assim como, a pesquisa conduzida por Castro (2024), observou-se que o leite de vacas com fenótipo beta-caseína A2 apresentou maior teor de gordura em comparação ao leite A1, quando os animais foram mantidos sobre as mesmas condições de raça e ambiente. Outros estudos como os de Albarella et al. (2020), Salsabila et al. (2025) e Heck et al. (2009) não detectaram diferenças significativas entre fenótipos.

De forma geral, os resultados obtidos confirmam que a expressão fenotípica das características produtivas é modulada pela interação entre fatores genéticos e ambientais. Enquanto a proteína e a lactose se mantiveram estáveis entre os fenótipos, a gordura apresentou maior sensibilidade ao componente genético, com vantagem para o fenótipo A2A2. Essa diferenciação, contudo, não elimina a importância do ambiente, uma vez que condições nutricionais, sanitárias e climáticas adversas podem atenuar ou potencializar os efeitos genotípicos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo, revelaram a predominância do fenótipo A2A2 da beta-caseína, presente em 69,2% da população avaliada, em contraste com 30,8% dos fenótipos A1A1/A1A2. Sugerindo que os animais do estudo tendem a transmitir hereditariamente essa característica e a possuírem capacidade de produção de leite A2.

O controle reprodutivo da fazenda se apresenta com falhas de monitoramento e registro, tais ausências de informações promovem a baixa eficiência reprodutiva da propriedade, e conseqüentemente, impactam negativamente na sua eficiência produtiva e econômica.

A análise estatística demonstrou que, ao avaliar a associação entre os fenótipos da beta-caseína e a produção de leite em vacas mestiças, observou-se que o fenótipo A2A2 apresentou desempenho produtivo superior, com diferença estatisticamente significativa tanto para a produção de leite quanto para o teor de gordura. Em contrapartida, não foram identificadas diferenças significativas nos teores de proteína e lactose entre os grupos fenotípicos avaliados. Essa diferença reforça o potencial produtivo do genótipo A2A2 não apenas em volume, mas também na qualidade do leite, considerando que o teor de gordura é um dos principais componentes valorizados na indústria de laticínios.

Tais achados sugerem uma possível influência fenotípica sobre esses parâmetros produtivos, ainda que condicionada à interação com fatores não genéticos, como nutrição, ambiente e estrutura de manejo, os quais representaram limitações importantes neste estudo. A ausência de registros zootécnicos anteriores e a estrutura produtiva da propriedade, voltada para fins comerciais, restringiram a padronização das condições experimentais e o controle dos fatores ambientais. Apesar disso, os dados obtidos fornecem indícios promissores quanto à contribuição do alelo A2 para a melhoria da produtividade e da qualidade do leite em sistemas adaptados ao contexto amazônico.

Assim, a caracterização fenotípica da beta-caseína em rebanhos leiteiros da região configura-se como uma ferramenta estratégica para programas de melhoramento genético, com potencial para impulsionar a eficiência produtiva e atender à crescente demanda por alimentos mais saudáveis e sustentáveis. Ressalta-se, contudo, a necessidade de continuidade das investigações, para validação e

aprofundamento dos resultados apresentados, de forma que os dados obtidos neste estudo representam informações iniciais para a estruturação de um programa de monitoramento e melhoramento de animais portadores dos fenótipos A2A2 da beta-caseína.

7. REFERÊNCIAS

ABREU, Eliana Maria Acioli de; FERNANDES, Antonio Rodrigues; MARTINS, Ana Regina Araújo; RODRIGUES, Tarcisio Ewerton. Produção de forragem e valor nutritivo de espécies forrageiras sob condições de pastejo, em solo de várzea baixa do Rio Guamá. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 1, 2006.

ALBARELLA, S; SEVAGGI, M.; D' ANZA, E.; COSENZA, G.; CAIRA, S.; SCALONI, A.; FONTANA, A.; PERETTI, V.; CIOTOLA, F. Influence of the Casein Composite Genotype on Milk Quality and Coagulation Properties in the Endangered Agerolese Cattle Breed. *Animais*, v. 10, p. 1 – 13, 2020.

ALOTHMAN, M. et al. The “Grass-Fed” Milk Story: Understanding the Impact of Pasture Feeding on the Composition and Quality of Bovine Milk. *Foods*, v. 8, n. 8, p. 350, 17 ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods8080350>. Acesso em: 3 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE GIROLANDO. Raça Girolando chega aos 28 anos com recordes. 01 fev. 2024. Disponível em: <https://www.girolando.com.br/noticia/4224/raca-girolando-chega-aos-28-anos-com-recordes?utm.com>. Acesso em: 20 jun. 2025.

BAÊTA, F. C. Responses of lacting dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season. 1985. Thesis (PhD)- Department of Agricultural Engineering, University of Missouri, Columbia, 1985. 218p.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. *Ambiência em edificações rurais–Conforto animal*. 2ª Edição. Editora UFV, 2010.

BARBOSA, Marina Gomes; SOUZA, Alisson Borges de; TAVARES, Guilherme Miranda; ANTUNES, Adriane Elisabete Costa. Leites A1 e A2: revisão sobre seus potenciais efeitos no trato digestório. *Segur.Aliment. Nutr.*, Campinas, v. 26, p. 1-11. e019004. 2019.

BERGAMASCHI, M. A. C. M.; MACHADO, R. BARBOSA, R.T. *Eficiência reprodutiva das vacas leiteiras*. Embrapa, São Carlos, 2010.

BRANDÃO, Carlos Adenyr Pachêco. *Panorama da bovinocultura do município de Parintins - Amazonas*. 2023. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 76 DE 26 DE NOVEMBRO DE 2018. Regulamento técnico de identidade e qualidade de leite cru refrigerado, *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 30 nov. Seção 1, p.2. 2018.

BRESSAN, M.; MARTINS, C. E.; VILELA, D. Sustentabilidade da pecuária de leite no Brasil. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite. Goiânia: CNPq/Serrana Nutrição Animal, 2000.

CAROLI, A.; CHESSA, S.; BUCCO, D. Genetic structure of milk protein polymorphisms and effects on milk production traits in Italian Holsteins. *Journal of Dairy Science*, v. 92, n. 7, p. 3529–3534, 2009.

CASTRO, Leila Silva e. Caracterização de leite cru de vacas com fenótipos A1A2 e A2A2 para β -caseína – um estudo exploratório. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2024.

CORBUCCI, Flávio Sader. Beta-caseína A2 como um diferencial na qualidade do leite. 2017. 23 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Medicina Veterinária) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filhos, Faculdade de Medicina Veterinária, 2017.

Cruz, P. H., & Zancanaro, E. Análise da produção e viabilidade na produção do leite tipo A2 em animais da raça Gir. *Nutritime*, 18(5). 2021. Recuperado de <https://nutritime.com.br/artigos/artigo-544-analise-da-producao-e-viabilidade-na-producao-do-leite-tipo-a2-em-animais-da-raca-gir/>

DE NONI, I.; FITZGERALD, R.J.; KORHONEN, H.J.T. ROUX, Y. L.; LIVESEY, C.T.; THORSODOTTIR, I.; TOMÉ, D. WITKAMP, R. Review of the potential health impact of β -casomorphins and related peptides. *EFSA Scientific Report*, v. 231, p. 1-107, 2009.

DIOGO, B. da S.; REIS, E. M. B.; DOS SANTOS, B. R. C.; MONTAGNER, A. E. A. D.; PINEDO, L. A. Ocorrência de animais produtores de leite A2A2: estudo de caso em uma propriedade do município de Rio Branco - Acre: Occurrence of A2A2 milk-producing animals: case study on a property in the municipality of Rio Branco – Acre. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, [S. I.], v. 6, n. 3, p. 2808–2818, 2023. DOI: 10.34188/bjaerv6n3-065. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/62676>. Acesso em: 10 jun. 2025.

EMBRAL. Gir Leiteiro - Você conhece as raças mais indicadas para produção de leite? [s.d.]. Disponível em: *Gir Leiteiro é o zebuíno com maior produtividade leiteira - Lance Rural*. Acesso em: 20 jun. 2025.

FERREIRA, F.; CAMPOS, W.E.; CARVALHO, A.U.; PIRES, M.F.A.; MARTINEZ, M.L.; SILVA, M.V.; VERNEQUE, R.S.; SILVA, P.F. Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 61, p. 769-776, 2009.

FRIAS, D. F. R.; LEAL, M. J. F. S. Melhoramento animal. *Boletim da Indústria Animal*, Nova Odessa, v. 77, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17523/bia.2020.v77.e1485>. Acesso em: 10 dez. 2025.

GOULART, E. J.; COSTA, C. P. da. Análise da presença do genótipo A2 em um rebanho bovino oriundo do oeste do Paraná. Revista JRG de Estudos Acadêmicos, Brasil, São Paulo, v. 7, n. 14, p. e141220, 2024. DOI: 10.55892/jrg.v7i14.1220. Disponível em: <https://revistajrg.com/index.php/jrg/article/view/1220>. Acesso em: 11 set. 2025.

HECK, J.M.L. & Schennink, A & Valenberg, Hein J.F. & Bovenhuis, H & Visker, M.H.P.W. & Arendonk, Johan & Hooijdonk, A.C.M.. Effects of milk protein variants on the protein composition of bovine milk. Journal of dairy science. 92. 1192-202. 10.3168/jds.2008-1208. 2009.

IBGE. Produção agropecuária: Leite - Amazonas. Rio de Janeiro: IBGE. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/am>. Acesso em: 10 dez. 2025.

JIANQIN, S.; LEIMING, X.; LU, X.; YELLAND, G. W.; NI, J.; & CLARKE, A. J. 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. Nutrition Journal, v. 15, n. 35, p. 1-14, 2016.

KAMIŃSKI, S.; CIESLEŃSKA, A.; KOSTYRA, E. Polymorphism of bovine beta-casein and its potential effect on human health. Journal of Applied Genetics, v. 48, n. 3, p. 189-198, 2007.

KHAN, R.; DE, S.; DEWANGAN, R.; TAMBOLI, R.; GUPTA, R. Potential status of A1 and A2 variants of bovine beta-casein gene in milk samples of Indian cattle breeds. Animal Biotechnology, 2023.

KORHONEN, H.; PIHLANTO, A. Bioactive peptides: Production and functionality. International Dairy Journal, v. 16, p. 945–960, 2006.

KUMAR, A.; KUMAR, S.; SINGH, R.V.; CHAUHAN, A.; KUMAR, A.; SONWANE, A.; Ilayakumar K & Rahul Singh. Investigation of genetic polymorphism at β -casein A1/A2 loci and association analysis with production & reproduction traits in Vrindavani crossbred cows. Animal Biotechnology, 2021.

LEMOS, M. J.; SANTOS, A. C. dos; SANTOS, J. S. dos; SANTOS, R. M. dos; SIQUEIRA, J. B. de. Efeito climático sobre a produção de leite de vacas Guzera criadas em dois ambientes diferentes: Climate effect on milk production of Guzera cows reared in two different environments. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v. 6, n. 2, p. 1721-1726, 2023

LIMA, A. C. J.; LARA, M. A. C. Polimorfismo do gene β -caseína em bovinos. Actas Ibero americanas de Conservación Animal. 280-285, 2015.

LIMA, B. L.; COELHO, K. O.; BUENO, C. P.; NEVES, R. B. S. Contagem celular somática nos grandes constituintes do leite. PUBVET, v.10, n.8, p.604-607, 2016.

LIMA, Tábatta Cristine Chaves. POLIMORFISMO NO GENE DA BETA-CASEÍNA EM REBANHOS ZEBUÍNOS LEITEIROS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. 2014. 43f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal: Sistema de Produção no Semiárido)–Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Macaíba, 2014.

MACHADO, N. J. B. Avaliação da qualidade microbiologia do leite produzido em Parintins/AM. Parintins, 2011.

MILUCHOVÁ, M; GÁBOR, M.; CANDRÁK, J. The Effect of the Genotypes of the CSN2 Gene on Test-Day Milk Yields in the Slovak Holstein Cow. Agriculture, 2023.

MOTA, D. A.; JACAÚNA, A. G.; HOSHIBA, M. M. M. L.; MATOS, I. T. S. R.; HOSHIBA, M. A.; ROSA, B.L. Caracterização da produção leiteira do município de Parintins, Estado do Amazonas, Brasil. Revista de Ciências Agrárias, v. 55, n. 2, p. 148-153, abr./jun. 2012.

MOURA, A. K. NEGRÃO, F.M; DANTAS, C.C.O; GERON, L.J.V; CAPOVILLA, L.C.T; VARGAS, M.A. Influências bioclimáticas e de ambiência no bem-estar de vacas leiteiras. PUBVET, Londrina, v. 4, n. 32, ed. 137, Art. 926. 2010.

MÜLLER, E. E. Qualidade do leite, células somáticas e prevenção da mastite. Simpósio sobre Sustentabilidade da Pecuária Leiteira na Região Sul do Brasil, v. 2, n. 2002, p. 206-217, 2002.

Neto, Oscar & Bittar, Dyb. (2018). Análise do conforto térmico e sua influência na produção e qualidade do leite em ambiente de domínio de cerrado. Pubvet. 12. 1-6. 10.22256/pubvet.v12n4a75.1-6.

NG-KWAI-HANG, K. F. et al. Effect of genetic polymorphism of milk proteins on rheology of chymosin-induced milk gels. International Dairy Journal, v. 12, n. 1, p. 647-654, 2002.

NGUYEN, D. D.; JOHNSON, S. K.; Busetti, F.; SOLAH, V. A. Formation and degradation of beta-casomorphins in dairy processing. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 55, n. 14, p. 1955-1967, 2015

NOGARA, K. F.; Kaelle, G. C. B.; TAVARES, Q. G.; MARCON, T. R.; GOPINGER, E.; ZOPOLLATTO, M.; DEBORTOLI, E. C. Influência das estações do ano sobre a qualidade microbiológica do leite de fazendas leiteiras da região norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Ciência Animal Brasileira, Goiânia, v. 23, e-72795P, 2022. DOI: 10.1590/1809-6891v23e-72795P. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cab/a/chktpLgtqL6bvxtq4QScTd/?lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2024.

NORO, G.; GONZÁLEZ, F. H. D.; CAMPOS, R.; DURR, J. W. Fatores ambientais que afetam a produção e a qualidade do leite em rebanhos ligados a cooperativas gaúchas. Revista Brasileira de Zootecnia, v.35, n.3, p.1129-1135, 2006.

OLIKA, Chala Duguma. Review on Effect of Nutrition on Milk Composition and Yield of Dairy Cows. *European Journal of Science, Innovation and Technology*, v. 1, n. 2, p. 2021.

PACCHIAROTTI, V.; MENDES, J.; FERREIRA, L. Produção do leite A2 e melhoramento genético do rebanho. *Revista Interdisciplinar de Saúde e Educação Ribeirão Preto*, v. 1, n. 2, 2020.

PAULO, José Vitor Lima de; NETO, Sarquis Monteiro Antonio; COSTA, Airton Silva da; TONIN, Alexandre Alberto; SOUSA, Isadora Karolina Freitas de; SOUSA, Rejane dos Santos. Characterization of milk production in the mesoregion of central amazon in the state of Amazonas. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v. 24, p. 1–11, 2023.

PEREIRA RAUBER, L.; COLDEBELLA, F.; SALVADEGO, T. A.; COMUNELLO, L.; GIACOMIN, L. PROJETO DE EXTENSÃO RURAL – LEITE FORTE CONTROLE REPRODUTIVO DE PEQUENOS REBANHOS LEITEIROS. Extensão Tecnológica: Revista de Extensão do Instituto Federal Catarinense, Blumenau, n. 2, p. 47–52, 2014. Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/RevExt/article/view/72>. Acesso em: 11 set. 2025.

PEREIRA, Tuanne Capella. Identificação dos alelos a1 e a2 para o gene da beta-caseína na raça Crioula Lageana. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Florianópolis, 2018.

PERES, J.R. O leite como ferramenta do monitoramento nutricional. In: FÉLIX, H. D. (Ed.). *Uso do leite para monitorar a nutrição e o metabolismo de vacas leiteiras*. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, 2001.

PFEIFER, LFM. Tecnologia simples para avaliar a condição nutricional do rebanho. Embrapa Rondônia-Folder. 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1011324/1/FolderVetscore.pdf>. Acesso: 27 de março de 2025.

RAJALA SCHULTZ, P. J.; GRÖHN, Y. T.; McCULLOCH, C. E.; GUARD, C. L. Effects of clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 82, n. 6, p. 1213–1220, jun. 1999.

RANGEL, A. H. N.; ZAROS, L. G.; LIMA, T. C.; BORBA, L. H. F.; NOVAES, L. P.; MOTA, L. F. M.; SILVA, M. S. Polymorphism in the Beta Casein Gene and analysis of milk characteristics in Gir and Guzera dairy cattle. *Genet. Mol. Res.*, 2017. *Genetics and molecular research*, 2017; 16(2), 10.4238/gmr16029592.

RISTANIC, M.; UROS, G.; BRANISLAV, V.; MILAN, M.; DANIJELA, K.; VLADO, T.; ZORAN, S. Beta-casein gene polymorphism in Serbian Holstein-Friesian cows and its relationship with milk production traits. *Acta Vet.*, 70(4): 497-510, 2020.

RODRIGUES, Matheus Henrique Dias et al. Frequências alélicas e genotípicas do gene da beta-caseína do leite em bovinos da raça Curraleiro Pé Duro criados no Estado do Tocantins. *Peer Review*, v. 5, n. 22, 2023.

RODRIGUES, Tatiana P.; COELHO, M. G. A. P.; SANTOS, E. B.; COSTA, I. C.; CORTEZ, M. A. S. Mastite bovina-influência na produção, composição e rendimento industrial do leite e derivados. *Arquivo de Pesquisa Animal*, v. 1, n. 1, p. 14-36, 2018.

ROHLEDER, Luciano Augusto Souza et al. Avaliação de parâmetros ambientais em uma microrregião no sul do estado do Amazonas e suas relações com estresse térmico de bovinos leiteiros. *Ciência Animal Brasileira*, v. 23, e71625P, 2022.

Salsabila, Kholifah S, Noor RR, Jakaria. Genetic diversity of the CSN2 gene and its impact on milk production and quality in Indonesian Friesian Holstein cattle. *Adv. Anim. Vet. Sci.* 13(5): 1072-1077. 2025.

SCIENCO BIO. Conheça o teste rápido Leite A2. 2024. Disponível em: <https://leitea2.scienco.bio.br/>. Acesso em: 27 de nov. 2024.

SGUIZZATO, A. L. L.; DA SILVA, T. E.; CHAGAS, J. C. C.; ARGÜELO, A. M.; GONÇALVES, N. M.; MARCONDES, M. I. Understanding the dynamics of mastitis in milk yield: Decoding onset and recovery patterns in response to mastitis occurrence. *JDS Communications*, v. 5, n. 6, p. 669–673, nov. 2024. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2024-05794>.

SILVA, B. P.; COAN, V. M.; SANTINON, N.P.; SILVA, M. D. Bem-estar animal em sistemas de produção de bovinos. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, São Paulo, v. 10, n. 12, p. 1260-1275, dez. 2024. DOI: 10.51891/rease.v10i12.17478. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/download/17478/9788>. Acesso em: 10 dez. 2024.

SILVA, Emanuel Isaque Cordeiro da. Manejo Reprodutivo e Índices Zootécnicos em Gado de Leite. In: *Manejo e Administração na Bovinocultura de Leite*, p. 279-299. Viçosa: UFV, Novembro 2023.

SILVA, Lucas. Produção de leite de vacas zebuínas manejadas em pastagens tropicais. *Pubvet*, [S. l.], v. 15, n. 08, 2021. DOI: 10.31533/pubvet.v15n08a896.1-8. Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/247>. Acesso em 20 jan.2025.

SILVA, Pâmela Maranhão. Índices zootécnicos reprodutivos de vacas leiteiras: revisão bibliográfica. 2023.

SILVA, T.P.D., OLIVEIRA, R.G.; JÚNIOR, S. C. S.; SANTOS, K. R. Efeito da exposição à radiação solar sobre parâmetros fisiológicos e estimativa do declínio na produção de leite de vacas mestiças (Holandês X Gir) no sul do estado do Piauí. *Comun. Sci.* 3, 299–305. 2012.

SOUSA, Fernanda de Araujo Lima. Diferenciais do leite A2A2 e Aplicabilidade. Botucatu, 2022. 19p. Trabalho de conclusão de curso de graduação (Medicina Veterinária, Área de Concentração: Produção Animal) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 2022

SOUSA, Kátia Regina Ferreira; FAGUNDES, Gláucia Brandão; NEVES, Tábatta Arrivabene; DE CARVALHO, Wanderson Fiares; SARMENTO, José Lindenberg Rocha; DA SILVA, Cleidson Manoel Gomes; DIAS, Francisca Elda Ferreira; BATISTA, Jael Soares; CAVALCANTE, Tânia Vasconcelos. FREQUÊNCIAS GÊNICAS E GENOTÍPICAS DAS VARIANTES A1 E A2 DA β -CASEÍNA EM GADO LEITEIRO. ARACÊ, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 10498–10511, 2024. DOI: 10.56238/arev6n3-368. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/1785>. Acesso em: 5 jan. 2025.

SOUZA, B. D.; SILVA, I. J. O.; MELLACE, E. M.; SANTOS, R. F. S.; ZOTTI, C. A.; GARCIA, P. R. Avaliação do ambiente físico promovido pelo sombreamento sobre o processo termorregulatório em novilhas leiteiras. Agropecuária Científica no Semiárido, v. 6, n. 2, p. 59-65, 2010.

SOUZA, Eduardo Ivan de. Influência do ambiente sobre a produção de leite. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Universidade Federal de Rondonópolis, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis, MT, 2020.

SOUZA, Sígliã. Embrapa apresenta opções para alimentação do gado na vitrine de forrageiras em Parintins. Embrapa Amazônia Ocidental, 08 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/66878560/embrapa-apresenta-opcoes-para-alimentacao-do-gado-na-vitrine-de-forrageiras-em-parintins?utmt.com>. Acesso em: 24 de junho de 2025.

THIRUVENGADAM, Muthu; VENKIDASAMY, Baskar; THIRUPATHI, Prabhu; CHUNG, III-Min; SUBRAMANIAN, Umadevi. β -Casomorphin: A complete health perspective. Food Chemistry, v. 337, 2021.

VINHOLIS, M. M. B., CARRER, M. J., SOUZA FILHO, H. M., & BERNARDO, R. Sistemas de integração lavoura-pecuária floresta no Estado de São Paulo: estudo multicaseiros com adotantes pioneiros. Revista de Economia e Sociologia Rural, 60(1), 2022.

Walker, G. P.; Dunshea, F. R.; Doyle, P. T. Effects of nutrition and management on the production and composition of milk fat and protein: a review. Australian Journal of Agricultural Research, Collingwood, v. 55, n. 8, p. 1009–1028, 2004.

XAVIER, G. da S.; DE SANTANA, R. I. P.; SOBRINHO, Álvaro P. L.; SAMPAIO, D. W. M.; MARCULINO, J.; AGUIAR, D. F. A.; SILVA, T. L. A.; FÉLIX, P. V.; DA SILVA, F. dos S.; ARAÚJO, E. R. M. C.; SILVA, A. B. R.; SILVA, D. kely S.; DE SOUZA, M. E. H.; RODRIGUES, C. H. O. A. A IMPORTÂNCIA DE ÍNDICES

ZOOTÉCNICOS ASSOCIADOS À REPRODUÇÃO DE BOVINOS DE LEITE E DE CORTE: REVISÃO DE LITERATURA. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, [S. l.], v. 6, n. 10, p. 3162–3186, 2024. DOI: 10.36557/2674-8169.2024v6n10p3162-3186. Disponível em: <https://bjih.emnuvens.com.br/bjih/article/view/4005>. Acesso em: 11 set. 2025.

ZHOU, C.; LI, C.; CAI, W.; LIU, S.; YIN, H.; SHI, S.; ZHANG, S. Genome-wide association study for milk protein composition traits in a Chinese Holstein population using a single-step approach. *Front. Genet.*, 10: 72, 2019.

8. ANEXOS

Anexo 1 - Ficha de controle leiteiro.

Controle Leiteiro (Fazenda Agro Nova)

Data: ____/____/____
Animal: _____
Peso do balde: _____
Início de Ordenha: _____
Final de Ordenha: _____
Temperaturas do Leite: _____ laser: _____ espeto: _____
Temperatura da Caixa: _____
CMT (mastite subclínica): _____
Obs. _____

Procedimentos da coleta:
 Coleta
 Etiquetagem
 Homogeneização do Leite
Temperatura do Leite (laboratório): _____

Data: ____/____/____
Animal: _____
Peso do balde: _____
Início de Ordenha: _____
Final de Ordenha: _____
Temperaturas do Leite: _____ laser: _____ espeto: _____
Temperatura da Caixa: _____
CMT (mastite subclínica): _____
Obs. _____

Procedimentos da coleta:
 Coleta
 Etiquetagem
 Homogeneização do Leite
Temperatura do Leite (laboratório): _____

Fonte: O autor (2025).