

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE ZOOTECNIA**

ALEXSANDRA MARIA TORROGROSA

**INFLUÊNCIA DO ESTRESSE TÉRMICO NA COMPOSIÇÃO DO LEITE DE
BOVINOS GIROLANDO**

ILHA SOLTEIRA – SP

2026

ALEXSANDRA MARIA TORROGROSA

INFLUÊNCIA DO ESTRESSE TÉRMICO NA COMPOSIÇÃO DO LEITE DE
BOVINOS GIROLANDO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
do Câmpus de Ilha Solteira – UNESP,
como parte dos requisitos para obtenção
do grau de Zootecnista.

Orientadora: Profa. Dra. Renata Negri

ILHA SOLTEIRA – SP

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

T697i Torrogrosa, Alexandra Maria.
Influência do estresse térmico na composição do leite de bovinos girolando /
Alexandra Maria Torrogrosa . -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
35 f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Zootecnia) - Universidade
Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2026

Orientadora: Renata Negri

Inclui bibliografia

1. Composição racial. 2. Bos taurus. 3. Girolando. 4. Tolerância ao calor. 5.
Itu.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA-CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ZOOTECNIA

ATA DA DEFESA – TRABALHODE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO: " INFLUÊNCIA DO ESTRESSE TÉRMICO NA
COMPOSIÇÃO DO LEITE DE BOVINOS GIROLANDO "**

ALUNA: ALEXSANDRA MARIA TORROGROSA – RA 211052523

ORIENTADORA: Profa. Dra. Renata Negri

-Aprovado (X) - Reprovado()pela Comissão Examinadora

Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Renata Negri
Presidente (Orientadora)

Documento assinado digitalmente



BEATRIZ EMIKO SUDA

Data: 09/06/2026 16:42:22-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Zootecnistae Mestranda Beatriz Emiko Suda

Documento assinado digitalmente



CAROLINA LIBERALI SARRI FAGUNDES

Data: 09/06/2026 16:10:19-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Médica Veternáriae MestrandaCarolinaLiberali Sarri Fagundes

Aluna: Alexsandra Maria Torrogrosa

Ilha Solteira (SP), 09 de junho de 2026.

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Departamento de Biologia e Zootecnia. Rua Monção nº 226 - Zona Norte Ilha Solteira, São Paulo. CEP: 15385-086.

Telefones: +55 18 3743-1152 +55 18 3743-1932

E-mail: dbz.feis@unesp.br

Dedico este trabalho a todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui. Aos meus pais por acreditarem no meu potencial. Aos meus amigos, pelo incentivo constante. Aos profissionais e professores pelos ensinamentos. E por fim, a mim mesma, pela resiliência, dedicação e coragem de nunca desistir dos meus sonhos, mesmo diante dos obstáculos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar força, sabedoria e determinação para concluir mais esta etapa da minha vida.

À minha família, pelo amor incondicional, apoio, incentivo e compreensão durante toda a minha trajetória acadêmica. Vocês foram meu alicerce nos momentos mais difíceis e compartilharam comigo cada conquista.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado ao longo da graduação, oferecendo apoio, companheirismo, incentivo e tornando essa caminhada mais leve e especial.

À minha orientadora, por toda a dedicação, paciência, confiança e pelos ensinamentos compartilhados durante a elaboração deste trabalho. Sua orientação foi fundamental para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Por fim, agradeço a mim mesma, pelo esforço, dedicação, persistência e coragem para enfrentar os desafios que surgiram ao longo da graduação. Esta conquista é resultado de muitas horas de estudo, renúncias e determinação. Chegar até aqui representar a realização de um sonho e a certeza de que todo o esforço valeu a pena.

A todos que contribuíram, de forma direta ou indireta, para a minha formação e para a realização deste trabalho, deixo meu sincero agradecimento.

RESUMO

O estresse térmico é um dos principais fatores limitantes da produção leiteira em regiões tropicais, afetando o desempenho produtivo e a qualidade do leite. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do estresse térmico sobre a produção e composição do leite de vacas Girolando com diferentes composições raciais, por meio da identificação dos limiares do Índice de Temperatura e Umidade (ITU), para características produtivas e qualitativas. Foram analisadas 23.216 observações de controle leiteiro pertencentes a vacas Girolando dos grupos genéticos 1/2H, 5/8H, 3/4He 7/8H. As características avaliadas incluíram produção de leite, teor de gordura e proteína, e escore de células somáticas. Os resultados demonstram que o aumento do ITU influenciou negativamente as características produtivas e qualitativas do leite, sendo observadas diferenças entre os grupos genéticos quanto à tolerância ao estresse térmico. Animais com maior participação genética de *Bos indicus* apresentaram maiores limiares de ITU e maior estabilidade para as características avaliadas, evidenciando melhor adaptação às condições climáticas tropicais. Em contrapartida, os grupos com maior proporção genética da raça Holandês apresentaram maior sensibilidade às condições ambientais adversas. Conclui-se que a composição racial influencia a resposta de vacas Girolando ao estresse térmico, sendo a participação genética zebuína um importante fator para a manutenção do desempenho produtivo e da qualidade do leite em ambientes tropicais. Os resultados obtidos contribuem para a compreensão da interação entre ambiente e genética, fornecendo subsídios para os programas de melhoramento genético e para adoção de estratégias de manejo voltadas à mitigação dos efeitos do estresse térmico na pecuária leiteira.

Palavra-chave: Composição Racial; *Bos taurus*; Girolando; Tolerância ao calor; ITU

ABSTRACT

Heat stress is one of the main limiting factors for dairy production in tropical regions, negatively affecting productive performance and milk quality. Therefore, this study aimed to evaluate the influence of heat stress on milk production and composition of Girolando cows with different genetic compositions by identifying the thresholds of the Temperature-Humidity Index (THI) for productive and qualitative traits. A total of 23,216 milk recording observations from Girolando cows belonging to the 1/2 Holstein, 5/8 Holstein, 3/4 Holstein, and 7/8 Holstein genetic groups were analyzed. The evaluated traits included milk yield, fat and protein contents, and somatic cell score. The results demonstrated that increasing THI negatively affected both productive and qualitative milk traits, with differences observed among genetic groups regarding heat stress tolerance. Animals with a greater proportion of *Bos indicus* genetics exhibited higher THI thresholds and greater stability for the evaluated traits, indicating better adaptation to tropical climatic conditions. In contrast, genetic groups with a higher proportion of Holstein genetics showed greater sensitivity to adverse environmental conditions. It was concluded that genetic composition influences the response of Girolando cows to heat stress, and that zebu genetic inheritance is an important factor in maintaining productive performance and milk quality in tropical environments. These findings contribute to a better understanding of the interaction between genetics and environment, providing support for genetic improvement programs and management strategies aimed at mitigating the effects of heat stress in dairy production systems.

Keywords: Genetic composition; *Bos taurus*; Girolando; Heat tolerance; Temperature-Humidity Index (THI).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Produção de leite nacional	11
2.2 Características da Raça Girolando	11
2.3 Estresse Térmico	14
2.4 Mecanismos Fisiológicos do Estresse Térmico em Bovinos	15
2.5 Efeitos do Estresse Térmico na Produção de Leite	15
2.6 Alterações na Composição do Leite sob Estresse Térmico.....	17
2.7 Efeitos do Estresse Térmico sobre a Saúde e Bem-Estar das Vacas	18
2.8 Estratégias de Mitigação do Estresse Térmico em Bovinos	19
2.9 Importância da Composição do Leite na Produção de Derivados Lácteos	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Banco de dados	23
3.2 Dados climáticos	23
3.3 Análise Estatística	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira desempenha um papel fundamental na economia e segurança alimentar do Brasil, sendo responsável por abastecer tanto o mercado interno quanto o externo. A bovinocultura leiteira representa um dos setores mais relevantes da agropecuária brasileira, destacando-se tanto pelo volume de produção quanto pela contribuição socioeconômica para milhares de famílias no meio rural (RIBEIRO *et al.*, 2023; EMBRAPA, 2024). O Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) destacou que o Brasil é o terceiro maior produtor de leite no setor mundial, com cerca de 34 bilhões de litros anualmente, com produção em 98% dos municípios do país (MAPA, 2023).

Segundo Amorim *et al.* (2024), as altas demandas por produtos derivados lácteos de qualidade, tanto no Brasil quanto no cenário internacional, têm contribuído para o destaque da raça Girolando, reconhecida por sua capacidade de adaptação a diversos sistemas de manejo e condições climáticas. No contexto nacional, essa raça é responsável por 80% do leite produzido no país, devido ao cruzamento entre o gado Holandês (*Bos taurus*) e o Gir (*Bos indicus*), combinação que lhe confere elevada produtividade aliada à rusticidade e adaptação às condições climáticas tropicais (GIROLANDO, 2025).

De acordo com Hansen (2009) e McManus *et al.* (2011) o estresse térmico pode ser considerado um dos fatores limitantes da pecuária leiteira em regiões tropicais e subtropicais, em decorrência de temperaturas elevadas e umidade relativa que podem comprometer o desempenho animal. Para Mello *et al.* (2022) o estresse térmico causa efeitos negativos à produção e reprodução em vacas leiteiras, causando alterações no bem-estar, redução da produção de leite, modificações na qualidade do leite e perdas na renda para os produtores.

Nesse contexto West (2003) salienta:

[...] Calor em excesso prejudica não apenas a produção, mas a qualidade do leite, sendo capaz de alterar teores de gordura, proteína, lactose e elevar a contagem de células somáticas, fatores que afetam diretamente o valor nutricional e industrial do leite.

Esse cenário confirma a importância de compreender a influência do estresse térmico na composição do leite em bovinos Girolando, uma vez que a raça é elemento fundamental na pecuária leiteira nacional. O presente estudo tem como objetivo geral analisar a influência do estresse térmico na composição do leite de bovinos da raça Girolando, considerando seus efeitos sobre os principais parâmetros físico-químicos e a qualidade do leite.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção de leite nacional

A produção de leite no Brasil apresenta grande relevância econômica e social, posicionando o país entre os maiores produtores mundiais (IBGE, 2023; EMBRAPA, 2022). No entanto, o clima tropical impõe o estresse térmico como um limitante central, afetando o metabolismo e a eficiência dos rebanhos (WEST, 2003; COLLIER *et al.*, 2017).

Nesse cenário, a pecuária leiteira brasileira consolidou-se com base em sistemas de cruzamento entre raças taurinas e zebuínas, estratégia que permite explorar os efeitos de heterose e a complementaridade entre características produtivas e adaptativas (McMANUS *et al.*, 2011). O estudo de Daltro *et al.* (2020) demonstram que a utilização de animais mestiços promove melhorias significativas no desempenho produtivo e na persistência da lactação, especialmente em ambientes tropicais. Dentre esses cruzamentos, destaca-se a formação do Girolando, resultado de combinação entre as raças Holandesa e GIR, atualmente considerada a principal base genética da pecuária leiteira nacional (EMBRAPA, 2022). Além da elevada adaptabilidade às condições tropicais, esses animais apresentam desempenho produtivo satisfatório em diferentes sistemas de produção (EMBRAPA, 2022). Ademais, pesquisas recentes de Negri *et al.* (2021a) indicam que a seleção genética voltada à tolerância ao calor tem se tornado uma ferramenta essencial para a sustentabilidade da atividade leiteira no Brasil, especialmente frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

2.2 Características da Raça Girolando

A raça Girolando surgiu no Brasil a partir do cruzamento entre animais da raça Gir (*Bos indicus*), de origem indiana e amplamente reconhecida por sua rusticidade e adaptação a climas tropicais, e a raça Holandesa (*Bos taurus*), caracterizada por seu elevado potencial produtivo em sistemas de climas

temperado. Esse cruzamento foi desenvolvido com o objetivo de combinar características complementares, reunindo produtividade leiteira e adaptabilidade ambiental em um genótipo, atendendo às necessidades específicas da pecuária leiteira brasileira (AMORIM *et al.*, 2024).

No cenário nacional, a raça Girolando consolidou-se como a principal base genética da produção de leite, sendo amplamente utilizada em diferentes sistemas produtivos. Essa predominância está associada à sua elevada capacidade de adaptação às condições edafoclimáticas tropicais, além de apresentar características produtivas e reprodutivas desejáveis, como boa fertilidade, resistência a ectoparasitas e maior longevidade produtiva, fatores essenciais para a sustentabilidade dos sistemas leiteiros no Brasil (ROCHA; CARVALHO; RESENDE, 2020).

No que se refere ao desempenho produtivo, vacas Girolando apresentam produção média de leite que pode variar entre aproximadamente 3.000 e 6.000 kg por lactação em sistemas a pasto, podendo ultrapassar 8.000 kg por lactação em sistemas mais intensivos e tecnificados. Essa variação está diretamente relacionada ao grau de sangue, manejo nutricional, ambiente e nível tecnológico da propriedade. Em relação à composição do leite, observa-se que os teores médios de gordura se situam entre 3,5 e 4,0%, enquanto a proteína varia entre 3,2 e 3,6%, valores considerados adequados para a industrialização e produção de derivados lácteos, refletindo bom equilíbrio entre volume e qualidade (ROCHA; CARVALHO; RESENDE, 2020; NARDONE *et al.*, 2010).

Entretanto, é importante destacar que as diferentes composições raciais não apresentam o mesmo desempenho produtivo. Animais com maior proporção de sangue Holandês (como $\frac{3}{4}$ H e $\frac{7}{8}$ H) tendem a apresentar maior produção de leite, porém com menor tolerância ao estresse térmico. Por outro lado, animais com maior proporção de sangue Gir (como $\frac{1}{2}$ H) apresentam menor produção volumétrica, mas maior rusticidade, resistência a parasitas e melhor adaptação às condições tropicais. Dessa forma, observa-se um claro *trade-off* entre produtividade e adaptabilidade, sendo fundamental a escolha do grau de

sangue mais adequado ao sistema de produção (DALTRO *et al.*, 2020; McMANUS *et al.*, 2011).

Quadro 1 - Comparação entre composições raciais da raça Girolando

Composição racial	Produção de leite (kg/lactação)	Gordura (%)	Proteína (%)	Tolerância ao calor	Características principais
1/2 H	3.000 – 5.000	3,8 – 4,2	3,3 – 3,6	Alta	Maior rusticidade, resistência e adaptação
3/4 H	4.000 – 7.000	3,6 – 4,0	3,2 – 3,5	Moderada	Equilíbrio entre produção e adaptação
7/8 H	6.000 – 9.000+	3,4 – 3,8	3,1 – 3,4	Baixa a moderada	Alta produção e maior exigência nutricional

Fonte: Adaptado de Daltro *et al.*, (2020); McMANUS *et al.*, (2011); Rocha; Carvalho; Resende (2020).

Conforme observado no Quadro 1, há uma relação inversa entre produtividade e tolerância ao estresse térmico, na qual o aumento da proporção genética da raça Holandesa resulta em maior produção de leite, porém reduz a adaptabilidade às condições tropicais. Em contrapartida, animais com maior participação da raça Gir apresentam maior estabilidade fisiológica e resistência ao calor, evidenciando a importância do equilíbrio genético nos sistemas de produção leiteira.

Além disso, os efeitos de heterose desempenham papel fundamental no desempenho dos animais Girolando, contribuindo para melhorias na persistência da lactação, eficiência produtiva e adaptação ao ambiente. Nesse contexto, pesquisas demonstram que os efeitos combinados de heterose e recombinação genética influenciam significativamente a curva de lactação em bovinos leiteiros no país, reforçando a importância dos cruzamentos bem planejados (DALTRO *et al.*, 2020). Complementarmente, pesquisas internacionais indicam que sistemas baseados no cruzamento entre raças taurinas e zebuínas promovem ganhos consistentes em fertilidade, eficiência produtiva e tolerância ao estresse térmico em regiões tropicais (NARDONE *et al.*, 2010).

Do ponto de vista fisiológico, a raça Girolando apresenta maior tolerância ao estresse térmico quando comparada às raças taurinas puras, o que reflete em menor elevação da temperatura corporal, melhor manutenção do consumo alimentar e maior estabilidade produtiva em condições de calor. Essa característica está diretamente relacionada à contribuição genética da raça Gir,

que confere maior eficiência nos mecanismos de dissipação de calor e melhor adaptação às condições ambientais adversas (McMANUS *et al.*, 2011).

Adicionalmente, a seleção genética voltada à tolerância ao calor tem se consolidado como um dos principais focos nos programas de melhoramento da raça. Nesse contexto estudos conduzidos por Negri *et al.* (2021a) destacam que a inclusão de características adaptativas nos critérios de seleção pode contribuir significativamente para a manutenção do desempenho produtivo em ambientes tropicais, especialmente diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Nesse contexto, a consolidação do Girolando evidencia não apenas o sucesso dos programas de cruzamento no Brasil, mas também a importância da seleção genética direcionada para características adaptativas como estratégia essencial para garantir a sustentabilidade da pecuária leiteira frente às condições climáticas adversas.

2.3 Estresse Térmico

O estresse térmico constitui um dos principais fatores limitantes da eficiência produtiva e reprodutiva na pecuária leiteira, especialmente em regiões de clima tropical e subtropical (WEST, 2003; COLLIER *et al.*, 2017). Esse fenômeno ocorre quando a combinação entre temperatura ambiente, radiação solar, umidade relativa e ventilação ultrapassa a capacidade dos bovinos de dissipar o calor corporal, prejudicando a manutenção da homeostase térmica (BERNABUCCI *et al.*, 2014).

A avaliação do estresse térmico em bovinos leiteiros é comumente realizada por meio do Índice de temperatura e umidade (ITU), que integra variáveis climáticas para estimar o nível de desconforto térmico imposto aos animais (BERNABUCCI *et al.*, 2014). Para Oliveira *et al.* (2021) os valores de ITU estão associados a respostas fisiológicas adversas, podendo ser relatado que índices acima de 68 já são suficientes para provocar alterações negativas no desempenho produtivo e reprodutivos dos animais. Vacas de alta produção são particularmente mais sensíveis a essas condições, em razão do elevado

metabolismo associado à síntese de leite, o que intensifica a produção endógena de calor (WEST, 2003; COLLIER *et al.*, 2017).

No contexto da pecuária leiteira brasileira, caracterizada por condições climáticas predominantemente tropicais, a utilização de genótipos adaptados constitui uma estratégia essencial para mitigar os efeitos do estresse térmico (McMANUS *et al.*, 2011). Nesse cenário, animais Girolando apresentam maior tolerância às condições ambientais adversas quando comparados a raças taurinas puras, evidenciando a relevância da adaptação genética para a sustentabilidade dos sistemas de produção leiteira (BERNABUCCI *et al.*, 2014).

2.4 Mecanismos Fisiológicos do Estresse Térmico em Bovinos

A redução do consumo de matéria seca constitui uma das principais respostas adaptativas ao estresse térmico, visto que diminui a produção interna de calor decorrente da digestão e do metabolismo, sendo considerada um mecanismo fisiológico de defesa utilizado pelos bovinos para minimizar a carga térmica corporal (WEST, 2003; NARDONE *et al.*, 2010). Entretanto, essa estratégia reduz a disponibilidade de nutrientes para manutenção e produção, contribuindo para alterações metabólicas e queda de desempenho produtivo (WEST, 2003; BERNABUCCI *et al.*, 2014).

Além disso, diferenças genéticas influenciam a capacidade de adaptação dos bovinos às condições ambientais. Raças zebuínas e seus cruzamentos com raças taurinas apresentam maior eficiência nos mecanismos de dissipação de calor quando comparados às raças taurinas puras, características que favorecem a manutenção da homeostase térmica em ambientes tropicais (McMANUS *et al.*, 2011; NARDONE *et al.*, 2010).

2.5 Efeitos do Estresse Térmico na Produção de Leite

Diversos estudos demonstram que a produção de leite começa a ser negativamente afetada quando o ITU ultrapassa valores próximos de 68, sendo esse limiar amplamente reconhecido como indicativo inicial de estresse térmico em vacas leiteiras, especialmente em animais de alta produção (FABRIS *et al.*, 2021; HERBUT; ANGRECKA; WALCZAK, 2018). A partir desse ponto, observa-

se uma queda progressiva na produção diária, podendo variar entre 0,2 e 0,9 kg de leite por vaca/dia para cada unidade adicional de ITU acima da zona de conforto térmico, dependendo do nível produtivo e da capacidade adaptativa dos animais (WEST, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Meta-análise dirigida por Chen *et al.* (2024), envolvendo 31 estudos internacionais, evidenciou que vacas submetidas ao estresse térmico apresentam redução média de 17,9% na produção de leite corrigida para energia, simultaneamente a uma diminuição de 19,3% na ingestão de matéria seca. Esses resultados indicam que, embora a redução do consumo alimentar seja um fator relevante, o estresse térmico também exerce efeitos diretos sobre os processos fisiológicos e metabólicos relacionados à síntese láctea (CHEN *et al.*, 2024).

Estudos realizados a campo pela Embrapa Gado de Leite (2024) mostram que o estresse térmico pode reduzir a produção em até 25% em algumas condições, com queda de até 15 kg de leite por lactação atribuídas diretamente ao calor extremo. Em termos absolutos, essas perdas podem apresentar reduções superiores a 1000 kg de leite por lactação, especialmente em sistemas tropicais e subtropicais, onde a exposição ao calor é mais persistente, e em extremos pode ultrapassar 2000 kg (NEGRI *et al.*, 2023).

Embora animais geneticamente adaptados, como os da raça Girolando, apresentem maior tolerância às condições de calor, perdas produtivas ainda podem ocorrer sob situações de estresse térmico intenso ou prolongado. Dessa forma, adaptação genética reduz, mas não elimina, os efeitos negativos do ambiente sobre a produção leiteira (BERNABUCCI *et al.*, 2014; NEGRI *et al.*, 2021a).

Desse modo, observa-se que o estresse térmico compromete de forma significativa a produção de leite, sobretudo quando o ITU ultrapassa a zona de conforto térmico dos animais, afetando diretamente os mecanismos fisiológicos e metabólicos envolvidos na síntese láctea, mesmo em genótipos mais adaptados ao calor (DALTRO *et al.*, 2017; NEGRI *et al.*, 2021a). Assim, torna-se evidente a necessidade da adoção de estratégias integradas de manejo,

ambiência e melhoramento genético, visando minimizar os efeitos do estresse térmico e garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção leiteira (COLLIER *et al.*, 2017; BERNABUCCI *et al.*, 2014).

2.6 Alterações na Composição do Leite sob Estresse Térmico

No que se refere à composição do leite, o estresse térmico exerce impactos significativos sobre as características físico-químicas do leite, alterando parâmetros essenciais como teor de gordura, proteína, lactose e outros sólidos totais (CHEN *et al.*, 2024; OLIAS *et al.*, 2025). Para Zhang *et al.* (2025) essas alterações são resultado de mudanças metabólicas, hormonais e digestivas impostas pelo excesso de calor, que perturbam a homeostase dos mecanismos de síntese do leite.

Entre os componentes do leite, a proteína pode ser considerada um dos mais sensíveis ao estresse térmico. A redução da ingestão de matéria seca, aliada à menor disponibilidade de aminoácidos e à diminuição da atividade metabólica das células epiteliais mamárias, resulta em uma queda significativa no teor proteico do leite (BERNABUCCI *et al.*, 2014). A meta-análise de Chen *et al.* (2024) evidenciou reduções médias de aproximadamente 3,9% no teor de proteína do leite em vacas submetidas ao calor excessivo.

O teor de gordura do leite apresenta respostas inconsistentes entre estudos sob condições de estresse térmico na literatura. Estudos experimentais relatam redução da gordura do leite sob calor, associado à menor ingestão de fibras efetiva e alterações na fermentação ruminal e o metabolismo energético (WEST, 2003; NARDONE *et al.*, 2010). Entretanto, quando os resultados são avaliados de forma conjunta, nem sempre o efeito se mantém estatisticamente significativo. Em meta-análise envolvendo 31 estudos, não foi observada alteração global significativa no teor de gordura do leite sob estresse térmico, apesar de terem sido registradas reduções consistentes na produção de leite e no consumo de matéria seca (CHEN *et al.*, 2024). Segundo Nardone *et al.* (2010), a lactose por estar relacionada ao volume de leite produzido, tende a ser diretamente afetada, uma vez que a redução da síntese do leite compromete a concentração total.

Estudos experimentais com vacas Girolando submetidas a estresse térmico indicam ocorrência de alterações nos sólidos do leite e aumento na contagem de células somáticas (CSS), refletindo impactos negativos sobre a qualidade sanitária e tecnológica do leite (OLIVEIRA *et al.*, 2023; MENDONÇA, 2023).

2.7 Efeitos do Estresse Térmico sobre a Saúde e Bem-Estar das Vacas

O estresse térmico compromete diretamente o bem-estar dos bovinos leiteiros, provocando alterações fisiológicas e comportamentais que refletem a dificuldade dos animais em manter o equilíbrio térmico. Em condições de elevada carga térmica, observa-se aumento do desconforto, redução da capacidade de adaptação ao ambiente e maior vulnerabilidade a distúrbios metabólicos e sanitários (BERNABUCCI *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2025).

Ademais, o estresse térmico compromete o comportamento natural das vacas, condensando o ciclo de descanso e ruminação, como estratégia para ampliar a dissipação de calor corporal (NARDONE *et al.*, 2010; COLLIER *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2021). Segundo estudos de Nardone *et al.* (2010), vacas sob estresse permanecem deitadas por menos de 12 horas por dia, valor inferior ao recomendado para manutenção do bem-estar, saúde podal e mamária. Igualmente, ocorre a redução do consumo alimentar, que pode atingir até 30%, agravando o balanço energético negativo e predispondo os animais a distúrbios metabólicos e reprodutivos (CHEN *et al.*, 2024).

A hipertermia prolongada reduz a eficiência da resposta imune celular e hormonal, aumentando a susceptibilidade a doenças infecciosas, com ênfase para a mastite, enfermidade que compromete tanto a saúde quanto o bem-estar animal (BERNABUCCI *et al.*, 2014). Para Zhang *et al.* (2025), o calor excessivo modifica o eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, elevando os níveis de cortisol e suprimindo mecanismos imunológicos essenciais à manutenção da homeostase.

Mendonça (2023) observou que vacas Girolando expostas a valores de ITU próximos a 85 apresentaram um aumento significativo da frequência respiratória, alterações em parâmetros imunológicos e sinais comportamentais

de desconforto térmico. Esses resultados salientam que, mesmo em genótipos adaptados ao clima tropical, a exposição contínua a altas temperaturas pode comprometer o estado sanitário e o bem-estar animal.

Dessa forma, o estresse térmico representa um fator limitante não apenas o desempenho produtivo, mas também para a saúde, o conforto e a longevidade das vacas leiteiras.

2.8 Estratégias de Mitigação do Estresse Térmico em Bovinos

A adoção de estratégias para mitigação do estresse térmico é essencial para minimizar os impactos negativos sobre a produção, a saúde e o bem-estar de bovinos leiteiros (DALTRO *et al.*, 2017; NEGRI *et al.*, 2021a). Seguindo estudos de West (2003) e Bernabucci *et al.* (2014) foi demonstrado que mecanismos fisiológicos de termorregulação não são suficientes para dissipar o excesso de calor corporal, exigindo intervenções no manejo e na ambiência dos sistemas de produção.

Abordagens de mitigação podem ser agrupadas em medidas relacionadas à ambiência, manejo genético e manejo nutricional, as quais atuam de forma complementar na redução da carga térmica e na manutenção do desempenho produtivo (BERNABUCCI *et al.*, 2014; COLLIER *et al.*, 2017). No âmbito da ambiência, Collier *et al.* (2017), demonstram que a disponibilização de sombra pode reduzir a temperatura corporal das vacas em até 1,5° C e melhorar o conforto térmico, refletindo positivamente na produção de leite.

Adicionalmente, sistemas de ventilação associados ao resfriamento evaporativo, como ventilação combinados à aspersão de água, são amplamente empregados em sistemas intensivos, contribuindo para a redução do ITU no microambiente e favorecendo a manutenção do consumo de matéria seca e do desempenho produtivo (WEST, 2003; BERNABUCCI *et al.*, 2014). No entanto, a eficácia dessas estratégias pode variar em função da intensidade do estresse térmico, das condições climáticas locais e da capacidade de adaptação dos animais ao ambiente, sendo essa adaptação um fator determinante na resposta produtiva ao calor (DIKMEN; HANSEN, 2009; McMANUS *et al.*, 2011).

No contexto genético, a utilização de raças e cruzamentos mais adaptados ao clima quente constitui uma estratégia relevante para a mitigação do estresse. Conforme a Associação Brasileira dos Criadores de Girolando (2025), a raça Girolando apresenta maior tolerância ao calor devido a características adaptativas herdadas do zebu, com maior capacidade de dissipação de calor, pelagem mais curta e maior eficiência dos mecanismos termorreguladores. No entanto, estudos indicam que, apesar dessa maior adaptabilidade, vacas Girolando também se beneficiam de melhorias na ambiência. Pesquisas indicam que, mesmo animais adaptados ao clima tropical, como vacas Girolando, a adoção de estratégias de resfriamento, incluindo sombreamento e sistemas de ventilação como aspersão, pode promover incrementos produtivos significativos, frequentemente superiores a 10% sob condições de elevada carga térmica (COLLIER *et al.*, 2017; NEGRI *et al.*, 2021a).

Por fim, no manejo nutricional, ajustes na dieta são cruciais para reduzir a produção de calor metabólico e manter o consumo de matéria seca durante fases de estresse térmico, uma vez que ajustes na dieta são essenciais para reduzir a produção de calor metabólico e manter o consumo de matéria seca durante o período de elevada carga térmica (BERNABUCCI *et al.*, 2014; NARDONE *et al.*, 2010). Nesse contexto, Bernabucci *et al.* (2014) elaborou estratégias para minimizar os efeitos negativos do calor sobre o metabolismo e a produção de leite, como aumento da densidade energética da dieta, uso de lipídeos, adequação de fibra efetiva e suplementação com minerais.

Além disso, a incorporação dessas práticas permite melhorar conforto térmico, preservar a saúde dos animais e eficiência produtiva e garantir maior sustentabilidade dos sistemas leiteiros (COLLIER *et al.*, 2017; WEST, 2003).

2.9 Importância da Composição do Leite na Produção de Derivados Lácteos

A composição do leite é um dos principais fatores determinantes da qualidade, rendimento industrial e valor econômico dos derivados lácteos (WALSTRA; WOUTERS e GEURTS, 2006; FOX *et al.*, 2017). Os teores de gordura, proteína, lactose e sólidos totais influenciam diretamente a eficiência do

processamento industrial e as características sensoriais de produtos como queijo, manteiga e leite em pó (FOX *et al.*, 2017; ZENG *et al.*, 2026).

Nesse contexto, as alterações na composição do leite induzidas pelo estresse térmico tornam-se especialmente relevantes para a indústria, uma vez que impactam diretamente o desempenho tecnológico da matéria-prima (DALTRO *et al.*, 2021; NEGRI *et al.*, 2021a). A redução no teor de proteína, por exemplo, compromete a formação do coágulo e a retenção de sólidos durante a fabricação de queijos, podendo resultar em perdas significativas de rendimento que variam entre 5% e 10%, dependendo da magnitude da redução proteica e das condições de processamento (DALTRO *et al.*, 2021; NEGRI *et al.*, 2021a). Estudos indicam que variações de apenas 0,1% no teor proteico podem afetar de forma relevante a eficiência do processamento e o rendimento queijeiro (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006).

De maneira semelhante, a gordura do leite desempenha papel essencial na definição de atributos como sabor, textura e consistência dos derivados. Reduções nesse componente, frequentemente observadas sob estresse térmico, estão associadas à diminuição do rendimento industrial e à alteração das propriedades sensoriais dos produtos finais (FOX *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2025).

A lactose, por sua vez, influencia diretamente o equilíbrio osmótico do leite e está relacionada ao volume produzido, impactando processos industriais e a padronização dos produtos (ZHANG *et al.*, 2025; OLIVEIRA *et al.*, 2025). Alterações nesse componente podem comprometer a estabilidade e a uniformidade dos derivados lácteos (OLIVEIRA *et al.*, 2025).

Além disso, o aumento da contagem de células somáticas, frequentemente associado ao estresse térmico, representa um fator crítico para a indústria, uma vez que está relacionado à redução da qualidade microbiológica e à menor vida de prateleira dos produtos (CHEN *et al.*, 2024; OLIVEIRA *et al.*, 2025).

Dessa forma, observa-se que as alterações na composição do leite provocadas pelo estresse térmico impactam diretamente o rendimento e a qualidade dos derivados lácteos, podendo resultar em perdas superiores a 10% na eficiência industrial em condições de calor prolongado (CHEN *et al.*, 2024; ZHANG *et al.*, 2025). Esse cenário reforça a importância do controle do estresse térmico não apenas para a produção primária, mas também para a sustentabilidade e competitividade da cadeia produtiva do leite (CHEN *et al.*, 2024; ZENG *et al.*, 2026).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Banco de dados

Os dados utilizados nesse estudo foram provenientes do serviço de Controle Leiteiro Oficial da Associação Brasileira dos Criadores de Girolando, disponibilizados em parceria com a Embrapa Gado de Leite. Foram utilizados registros de produção de leite no dia do controle (TD), teor de proteína e gordura, coletados no período de 2000 a 2024, provenientes de vacas da raça Girolando com diferentes composições genéticas.

A base de dados foi composta por 23.216 registros produtivos, incluindo produção de leite (PLE), teor de gordura (TG%), teor de proteína (TP%) e escore de células somáticas (ECS), oriundos de 9.702 vacas primíparas da raça Girolando. Os animais foram classificados em quatro grupos genéticos: 1/2H, 5/8H, 3/4H e 7/8H.

Para garantir a qualidade e consistência das informações, foram considerados apenas dados de vacas com idade entre 18 e 53 meses, com dias em lactação (DIM) variando entre 5 e 305 dias e produção dentro do intervalo de ± 3 desvios-padrão da média. Foram incluídos apenas animais saudáveis, com encerramento normal da lactação e que apresentaram, no mínimo, quatro controles leiteiros ao longo da lactação.

Os grupos de contemporâneos (GC) foram definidos como rebanho-anomês de controle, sendo exigido o mínimo de três animais por grupo, filhas de pelo menos dois touros distintos. Adicionalmente, cada touro deveria apresentar, no mínimo, uma filha em pelo menos dois grupos de contemporâneos. A edição do banco de dados, bem como a verificação da consistência e da profundidade do pedigree, foi realizada com o auxílio do *software R*.

3.2 Dados climáticos

As informações climáticas empregadas nesse estudo foram obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), considerando as variáveis temperatura do bulbo seco (TB, °C) e umidade relativa do ar (UR, %)

fundamentais para caracterização do ambiente térmico ao qual os animais estão expostos.

A utilização desses dados foi condicionada ao atendimento dos critérios de representatividade ambiental, incluindo: distância inferior a 60 km entre a estação meteorológica e a propriedade avaliada, classificação climática segundo Köppen-Geiger e a diferença de altitude inferior a 300 metros entre os municípios.

A partir dessas variáveis, foi calculado o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), conforme equação proposta pelo *National Research Council* (NRC, 1971):

$$ITU = [(1,8 \times TB + 32) - (0,55 - 0,0055 \times UR) \times (1,8 \times TB - 26)]$$

em que TB corresponde à temperatura do bulbo seco (°C) e UR à umidade relativa do ar (%).

Adicionalmente, foi calculada a variação diária do ITU (ITUR), definida como a diferença entre os valores máximos e mínimos do índice ao longo do dia, permitindo avaliar a amplitude térmica diária à qual os animais foram submetidos.

3.3 Análise Estatística

A identificação do período de maior impacto do estresse térmico foi realizada por meio da comparação dos valores de Índice de Temperatura e Umidade (ITU) registrados no dia do controle leiteiro e até três dias antes do controle, permitindo determinar o intervalo mais representativo para a análise dos efeitos ambientais sobre a produção de leite (NEGRI *et al.*, 2021a).

O modelo estatístico adotado considerou como efeitos fixos o grupo contemporâneo, frequência de ordenha, dias em lactação, ITU, variação do ITU (ITUR), composição genética, heterozigosidade, idade ao parto e época de parto.

As análises foram conduzidas utilizando modelos de regressão aleatória, por meio de modelo animal unicaracterística, incluindo os efeitos aleatórios de animal, ambiente permanente e erro, abordagem amplamente empregada em estudos de avaliação genética em bovinos leiteiros (KIRKPATRICK *et al.*, 1994;

MISZTAL *et al.*, 2002). Os efeitos fixos foram testados em diferentes combinações, visando identificar o modelo que melhor se ajustasse aos dados.

Os efeitos genéticos aditivos e de ambiente permanente foram modelados em função do ITU e/ou dos dias em lactação, utilizando polinômios de Legendre (4ª ordem), permitindo descrever de forma flexível a variação das características ao longo da lactação sob diferentes condições térmicas (KIRKPATRICK *et al.*, 1994).

Os componentes de variância e covariância foram estimados por meio dos programas *REMLF90* e *BLUPF90* (MISZTAL *et al.*, 2002), amplamente utilizados em estudos de avaliação genética animal.

Para a determinação do limiar de conforto térmico foi empregada regressão segmentada (modelo de duas fases), aplicada às médias dos quadrados mínimos, possibilitando a identificação do ponto de quebra a partir do qual ocorre redução significativa na produção de leite ($P < 0,001$), conforme descrito por Zeileis *et al.* (2002).

As análises estatísticas foram realizadas no *Software R* (R Core Team, 2021), com auxílio do pacote *Strucchange* (ZEILEIS *et al.*, 2002). A quantificação das perdas produtivas foi estimada por meio da regressão linear, considerando o efeito de cada unidade de ITU acima do limiar identificado, tanto para a população total quanto para os diferentes grupos genéticos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos critérios de ajuste, as informações bioclimáticas coletadas no dia do controle leiteiro (ITU0) desempenharam maior impacto na produção e qualidade (melhores valores de $-2\log L$, AIC e BIC, Tabela 1). Isto é, as informações de ITU coletadas no dia do controle ilustram melhor as variações na produção de leite dos animais Girolando.

Tabela 1. Estimativas dos critérios de ajuste conforme o dia do índice de temperatura e umidade (ITU) avaliado.

Dia*	$-2\log L$	AIC	BIC
ITU0	3921,2	3921,3	3921,4
ITU1	4007,6	4007,7	4007,8
ITU2	4007,8	4007,8	4007,9
ITU3	4008,5	4008,5	4008,6
ITU01	4008,7	4008,7	4008,8
ITU012	4007,6	4007,6	4007,7

* Dia: informações de ITU no dia do controle leiteiro (ITU0); ITU no dia anterior ao teste (ITU1); informações de ITU dois dias antes do dia do teste (ITU2); informações de ITU três dias antes do dia do teste (ITU3); ITU médio no dia do teste e no dia anterior (ITU01); e ITU médio considerando as informações no dia do teste, no dia anterior e dois dias antes (ITU012).

Na Tabela 2 é possível observar os valores de teor de gordura. Observa-se um aumento gradativo dessa característica à medida que aumenta a proporção de Gir e diminui a participação genética da raça Holandês. O maior teor de gordura foi observado no grupo 1/2H (3,65%), seguido pelos grupos 5/8H (3,61%), 3/4H (3,56%) e 7/8H (3,45%), com a média geral de 3,59%.

Esse comportamento sugere maior capacidade dos animais com maior proporção de genes *Bos indicus* em manter a composição do leite mesmo sob condições ambientais exigentes (VERCESI FILHO *et al.*, 2007). A maior rusticidade e adaptação desses animais às condições tropicais podem contribuir

para menor comprometimento do metabolismo energético durante períodos de estresse térmico, favorecendo a manutenção da síntese de gordura láctea.

Tabela 2. Médias do teor de gordura (%), teor de proteína (%) e escore de células somáticas (ECS) de vacas Girolando de diferentes composições raciais, bem como o número de observações (N) utilizadas nas análises.

Item	7/8H	3/4H	5/8H	1/2H	Média
Teor de Gordura (%)	3,45	3,56	3,61	3,65	3,59
Teor de Proteína (%)	3,23	3,27	3,29	3,34	3,3
ECS	3,31	3,35	3,51	3,8	3,59
N	4501	4017	3214	11484	2321

Para o teor de proteína, verificaram-se tendências semelhantes às observadas para o teor de gordura (Tabela 2). Os maiores valores foram registrados no grupo 1/2H (3,34%), seguido pelos grupos 5/8H (3,29%), 3/4H (3,27%) e 7/8H (3,23%). A média geral foi de 3,30%.

Os resultados indicam que animais com menor proporção de genes oriundos da raça Holandês, apresentaram melhor desempenho quanto à manutenção dos sólidos do leite. Essa resposta pode estar associada à maior adaptação fisiológica desses animais ao ambiente tropical, reduzindo os efeitos negativos do estresse térmico sobre o consumo alimentar e o aproveitamento dos nutrientes da síntese proteica (OSORIO *et al.*, 2021).

Os valores médios do escore de células somáticas (ECS) também diferiram entre as composições genéticas avaliadas (Tabela 2). O grupo 1/2H mostrou o maior valor médio de 3,80%, seguido pelos seguintes grupos 5/8H (3,51%), 3/4H (3,35%) e 7/8H (3,31%), enquanto a média geral observada foi de 3,59%.

Os resultados obtidos indicam que o estresse térmico pode afetar não apenas a composição do leite, mas também parâmetros relacionados à saúde da glândula mamária. O estresse térmico atua como um fator estressor multifatorial, desencadeando alterações metabólicas e imunológicas que comprometem os mecanismos de defesa do organismo e aumentam a susceptibilidade a infecções intramamárias (NEGRI *et al.*, 2021b). Nesse contexto, Cadeño *et al.* (2022) destacam que os distúrbios da homeostase de

vacas leiteiras submetidas a condições ambientais adversas podem comprometer a resposta imune celular do úbere, favorecendo a ocorrência de processos inflamatórios e elevando a contagem de células somáticas. Esses mecanismos contribuem para a deterioração da saúde da glândula mamária e podem resultar em prejuízos à qualidade do leite. Os resultados encontrados no estudo corroboram com esta hipótese, uma vez que as alterações no escore de células somáticas foram inferiores às observadas para a produção de leite, teor de gordura e teor de proteína em todos os grupos genéticos avaliados.

Considerando o elevado número de observações utilizadas no estudo (N= 23.216), distribuídas entre os grupos genéticos, os resultados obtidos conferem estabilidade às análises realizadas e evidenciam a influência da composição racial sobre as respostas dos animais às condições ambientais tropicais.

Os limiares para ECS variam de ITU 76 a 79, enquanto para os teores de gordura e proteína os valores oscilaram entre ITU 77 a 80 (Tabela 3). Isto pode sugerir que alterações relacionadas à saúde da glândula mamária podem ocorrer antes da manifestação de perdas significativas na produção e na composição do leite, indicando que o escore de células somáticas pode atuar como um indicador precoce dos efeitos do estresse térmico em vacas Girolando.

Tabela 3. Limiares de estresse térmico para teor de gordura (%G), teor de proteína (%P) e escore de células somáticas (ECS) para cada composição genética.

	Composição genética			
	7/8H	3/4H	5/8H	1/2H
%G	77	78	80	80
%P	77	78	80	80
ECS	76	77	79	79

Observa-se que os grupos com maior participação genética de *Bos indicus* apresentam maior tolerância ao estresse térmico, evidenciada pelos maiores limiares de ITU para teor de gordura, teor de proteína e escore de células somáticas. Os grupos 1/2H e 5/8H apresentaram pontos de ruptura mais elevados quando comparados aos grupos 3/4H e 7/8H, demonstrando maior capacidade de adaptação às condições climáticas adversas. Esses resultados

mostram a relevância da composição genética na adaptação de vacas Girolando aos sistemas de produção em regiões tropicais/subtropicais e destacam a necessidade da adoção de estratégias de manejo voltadas à mitigação dos efeitos do estresse térmico, especialmente em animais com maior proporção genética da raça Holandês.

5. CONCLUSÃO

O estresse térmico influenciou significativamente a produção e a composição do leite de vacas Girolando, demonstrando que as condições ambientais afetam diretamente o desempenho dos animais.

A composição racial apresentou efeito importante sobre a tolerância ao calor. Os grupos com maior participação genética de *Bos indicus* apresentaram maiores limiares de ITU para produção de leite, teor de gordura, teor de proteína e escore de células somáticas, evidenciando maior adaptação às condições tropicais. Por outro lado, animais com maior proporção genética da raça Holandesa mostraram-se mais sensíveis ao estresse térmico.

Os resultados indicam que a composição genética influencia a capacidade de respostas de vacas Girolando às variações ambientais, afetando tanto características produtivas quanto qualitativas do leite.

Dessa forma, conclui-se que a utilização de animais mais adaptados aos climas tropicais, associada à adoção de estratégias de manejo para redução do estresse térmico, é fundamental para manter a produtividade, qualidade do leite e a sustentabilidade dos sistemas de produção leiteiro.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Thélío do Nascimento. **Girolando, a raça leiteira dos trópicos**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Zootecnia) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2024. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/8540>.

ANDRADE, Ricardo Guimarães; et al. **Evolução recente da produção e da produtividade leiteira no Brasil**. Revista Foco, 2023.

BERNABUCCI, Umberto; LACETERA, Nicola; BAUMGARD, Lance H.; RHOADS, Robert P.; RONCHI, Bruno; NARDONE, Aldo. **Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants**. Animal, Cambridge, v. 8, n. 7, p. 1167–1183, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S175173111400090X>.

BERNABUCCI, Umberto; BIFFANI, Stefano; BUGGIOTTI, Laura; VITALI, Alessandra; LACETERA, Nicola; NARDONE, Aldo. **The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle**. Journal of Dairy Science, v. 97, n. 1, p. 471–486, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6611>.

CARDEÑO, Carlos Bedolla; DOMÍNGUEZ, Rodolfo Lucio; ORDOÑEZ, Valente Velázquez; CARRANZA, Benjamín Valladares; VÁZQUEZ, Armando Gómez. Importance of somatic cell count in determining udder health and milk quality. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.5, n.1, p.104-123, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-009>

CHEN, Long; THORUP, Vivi M.; KUDAHL, Anne B.; ØSTERGAARD, Søren. **Effects of heat stress on feed intake, milk yield, milk composition, and feed efficiency in dairy cows: a meta-analysis**. Journal of Dairy Science, v. 107, n. 5, p. 3207–3218, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24059>.

COLLIER, Robert J.; RENQUIST, Brett J.; XIAO, Yongmei. **Genes involved in the bovine heat stress response**. Journal of Dairy Science, v. 100, n. 11, p. 965–981, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>.

DALTRO, Darlene dos Santos; PADILHA, Alessandro Haiduck; GAMA, Luís Telo da; SILVA, Marcos Vinícius Gualberto Barbosa da; COBUCCI, Jaime Araujo. **Breed, heterosis, and recombination effects for lactation curves in Brazilian cattle**. Journal of Dairy Science, v. 103, n. 6, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17947>.

DALTRO, Darlene dos Santos; et al. **Heterozigosidade e desempenho produtivo em bovinos Girolando**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 50, e20200123, 2021

EMBRAPA GADO DE LEITE. **Estresse térmico em vacas leiteiras: impactos e estratégias de mitigação**. Juiz de Fora: Embrapa, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/gado-de-leite>.

ERASMUS, Louwrens M.; VAN MARLE-KÖSTER, Este. **Heat stress in dairy cows: a review of abiotic and biotic factors**. South African Journal of Animal Science, v. 55, n. 1, 2025. Disponível em: https://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext.

FABRIS, Tiago F.; LAPIERRE, Hubert; et al. **Critical temperature-humidity index thresholds for dry cows in a subtropical climate**. Frontiers in Animal Science, v. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.706636>.

FERREIRA, Francisco; PIRES, Maria de Fátima Ávila; MARTINEZ, Maria Lúcia; COELHO, Sílvia Goulart; CARVALHO, Adriano Uchoa; FERREIRA, Paulo de Souza. **Parâmetros fisiológicos de bovinos submetidos ao estresse calórico**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 58, n. 5, p. 732–738, 2006.

FOX, Patrick F.; UNIACKE-LOWE, Timothy; McSWEENEY, Paul L. H.; O'MAHONY, James A. **Dairy chemistry and biochemistry**. 2. ed. Cham: Springer, 2017.

GIROLANDO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE GIROLANDO. **A raça Girolando e sua adaptação ao clima tropical**. Uberaba, 2025. Disponível em: <https://girolando.com.br>.

HANSEN, Peter J. **Effects of heat stress on mammalian reproduction**. Philosophical Transactions of the Royal Society B, v. 364, p. 3341–3350, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0131>.

HERBUT, Piotr; ANGREGKA, Sabina; WALCZAK, Jacek. **Environmental parameters to assess heat stress in dairy cattle: a review**. International Journal of Biometeorology, v. 62, n. 12, p. 2089–2097, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1629-9>.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107>.

MADALENA, Fernando Enrique; MARTINEZ, Maria Lúcia; FREITAS, Antônio Fernando. **Evaluation of strategies for crossbreeding of dairy cattle in Brazil**. Journal of Dairy Science, v. 73, n. 7, p. 1887–1901, 1990.

MARAI, Ismail F. M.; HABEEB, A. A. M.; GAD, A. E. **Biological functions in young pregnant ewes as affected by heat stress**. Tropical and Subtropical Agroecosystems, v. 7, p. 1–9, 2007.

McMANUS, Concepta; PALUDO, Graziela R.; LOUVANDINI, Helder; GUGEL, Ricardo; SASAKI, Luciana C. B.; PAIVA, Samuel R. **Heat tolerance in Brazilian cattle breeds**. *Livestock Science*, v. 142, p. 257–264, 2011.

MELLO, Rodrigo B.; SOUZA, João V.; SILVA, André R. **Influência do estresse térmico na qualidade do leite bovino**. *Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Ciências Agrárias*, v. 4, n. 8, p. 45–56, 2022.

MENDONÇA, Letícia Caldas. **Efeitos de estressores ambientais sobre indicadores fisiológicos, produtivos, de bem-estar e saúde de glândula mamária em vacas leiteiras Girolando**. 2023. 123 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/9e77c2b7-683a-461e-a1d9-fae8d30b5cf0>.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Mapa do leite: políticas públicas e privadas para o leite**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>.

MISZTAL, Ignacy; TSURUTA, Shogo; STRABEL, Thomas; AUVRAY, Benoît; DRUET, Thierry; LEE, Dorian H. **BLUPF90 and related programs (BGF90)**. *Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Montpellier, 2002.

NARDONE, Aldo; RONCHI, Bruno; LACETERA, Nicola; RANIERI, Maria S.; BERNABUCCI, Umberto. **Effects of climate changes on animal production and sustainability**. *Livestock Science*, v. 130, p. 57–69, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>.

NEGRI, Renata dos Santos; DALTRO, Darlene dos Santos; KLUSKA, Sabrina; OTTO, Pamela Itajara; CAMARGO, Luiz Sergio de Almeida; SILVA, Marcos Vinícius Gualberto Barbosa da. **Estresse térmico: desafios e perspectivas para seleção na raça Girolando**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PECUÁRIA LEITEIRA, 2021a. Anais [...]. 2021 Disponível em: <https://www.meridapublishers.com/sipel/cap7.pdf>.

NEGRI, Renata; DALTRO, Darlene Dos Santos; COBUCI, Jaime Araújo. Heat stress effects on somatic cell score of Holstein cattle in tropical environment. *Livestock Science*, v. 247, p. 104480, 2021b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104480>

NEGRI, Renata; DALTRO, Darlene Dos Santos; KLUSKA, Sabrina; OTTO, Pamela Itajara; MACHADO, Marco Antonio; PANETTO, João Claudio do Carmo; MARTINS, Marta Fonseca; OLIVEIRA, Hinayah Rojas de; COBUCI, Jaime Araújo; SILVA, Marcos Vinícius Gualberto Barbosa da. Genomic-enhanced breeding values for heat stress tolerance in Girolando cattle in Brazil. *Livestock Science* v. 278, p. 105360, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105360>

OLIVEIRA, Charles Paranhos; SOUSA, Fernanda Campos de; SILVA, Alex Lopes da; SCHULTZ, Érica Beatriz; LONDOÑO, Roger Iván Valderrama; SOUZA, Pedro Antônio Reinoso de. **Heat stress in dairy cows: impacts, identification and mitigation strategies**. *Animals*, v. 15, n. 2, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani15020249>.

OLIVEIRA, Mateus R.; CARVALHO, Gleidson G. P.; PIRES, Alexandre J. V.; MACHADO, Lucas F.; SILVA, João P. **Heat stress affects milk yield, milk quality and gene expression in mammary cells of Girolando cows**. *Journal of Thermal Biology*, v. 109, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103321>.

OSORIO, Jesus Alberto Cardozo; BAUTISTA, Duvan Sanabria; OLIVEIRA, Eduarda Ribas de; ORTEGA, Roman Enrique Maza. **A importância do Gir na pecuária tropical**. In: O papel da inovação no enfrentamento das incertezas da bovinocultura leiteira contemporânea. Mérida: Canoas, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-30-5.c4>

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation, 2021. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.

RAVAGNOLO, Orazio; MISZTAL, Ignacy; HOOGENBOOM, Gerrit. **Genetic component of heat stress in dairy cattle**. *Journal of Dairy Science*, v. 83, p. 2120–2125, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75094-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75094-6).

RIBEIRO, Lucas S.; OLIVEIRA, Mateus R.; SILVA, João P.; CARVALHO, Gleidson G. P.; PIRES, Alexandre J. V. **Chromium supplementation modulates glucose metabolism in heat-stressed Girolando cows**. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 41, p. 2445–2452, 2020.

ROCHA, Daniel Teixeira; CARVALHO, Gláucia Rodrigues de; RESENDE, José Carlos de. **Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária**. Juiz de Fora: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1124858>.

SILVA, Roberto Gomes; MAIA, Alexandre S. C.; COSTA, L. L. M. **Rectal temperature, respiratory rate and performance of Girolando cows under heat stress**. *International Journal of Biometeorology*, v. 59, p. 1647–1653, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00484-015-0971-5>.

SOUZA JUNIOR, João Batista Ferreira. **Termorregulação de bovinos em ambiente tropical**. Pubvet, 2016.

VERCESI FILHO, A. E.; MADALENA, F. E.; ALBUQUERQUE, L. G.; FREITAS, A. F.; BORGES, L. E.; FERREIRA, J. J.; TEODORO, R. L.; FARIA, F. J. C. Parâmetros genéticos entre características de leite, de peso e a idade ao

primeiro parto em gado mestiço leiteiro (Bos taurus x Bos indicus). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.4, p.983-990, 2007.

WALSTRA, Pieter; WOUTERS, Jan T. M.; GEURTS, Tom J. **Dairy science and technology**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.

WEST, John W. **Effects of heat stress on production in dairy cattle**. Journal of Dairy Science, v. 86, n. 6, p. 2131–2144, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X).

ZHANG, Qiang; YANG, Lulu; LI, Yunhan; GU, Pengbo; SI, Riguleng; ZHU, Lin; ZHANG, Wenguang. **Heat stress affects dairy cow performance via oxidative stress, hypothalamic–pituitary–adrenal axis, gut microbiota, and multi-dimensional mitigation**. Frontiers in Veterinary Science, v. 12, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1686241>.