

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS CAMPUS DE ENGENHARIAS E
CIÊNCIAS AGRÁRIAS CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

JEAN INACIO DA SILVA LIMA

STRESSE TÉRMICO E SISTEMA LEITEIRO EM REGIÕES TROPICAIS

RIO LARGO
2026

JEAN INACIO DA SILVA LIMA

ESTRESSE TÉRMICO E SISTEMA LEITEIRO EM REGIÕES TROPICAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Zootecnia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Zootecnia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Sandra Roseli Valerio Lana.

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

L732s Lima, Jean Inacio da Silva.

Stresse térmico e sistema leiteiro em regiões tropicais. / Jean Inacio da Silva Lima. – 2026.

30 f.: il.

Orientador(a): Sandra Roseli Valerio Lana.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Graduação em Zootecnia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2026.

Inclui bibliografia

1. Adaptação. 2. Ambiência. 3. Estresse térmico. 4. Leite. I. Título.

CDU: 637.1

JEAN INACIO DA SILVA LIMA

ESTRESSE TÉRMICO E SISTEMA LEITEIRO EM REGIÕES TROPICAIS

Trabalho de Conclusão de curso
submetido à banca examinadora do curso
de Zootecnia da Universidade Federal de
Alagoas e aprovada em 10 de Junho de
2026

Documento assinado digitalmente
 SANDRA ROSELI VALERIO LANA
Data: 17/06/2026 21:16:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Orientadora – Prof. Dra. Sandra Roseli Valerio Lana CECA/UFAL)

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 GERALDO ROBERTO QUINTAO LANA
Data: 17/06/2026 21:28:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador Interno – Prof. Dr. Geraldo Roberto Quintão Lana CECA/UFAL)

Documento assinado digitalmente
 ROMILTON FERREIRA DE BARROS JUNIOR
Data: 17/06/2026 21:48:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador Interno – Prof. Dr. Romilton Ferreira de Barros Júnior CECA/UFAL)

Dedico este trabalho a Deus, por me abençoar e guiar em todos os momentos. À minha mãe, por todo o amor, apoio e por ser minha maior inspiração. E à minha avó, que mesmo não estando mais fisicamente entre nós, segue viva em meu coração e abençoa esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha profunda gratidão a Deus, o arquiteto de todas as coisas, por iluminar minha mente, guiar meus passos e me dar o discernimento necessário para concluir esta etapa tão importante da minha formação profissional.

À minha mãe, que dedicou sua vida para que eu pudesse ter acesso à educação e a um futuro melhor. Suas palavras de sabedoria e sua fé inabalável no meu potencial foram o alicerce que me sustentou nos momentos de maior pressão. Minha gratidão a você é eterna.

À minha namorada, pelo companheirismo exemplar e pela cumplicidade. Obrigado por ser meu ponto de equilíbrio, por ouvir meus desabafos sobre o andamento da pesquisa e por me motivar a dar o meu melhor em cada linha escrita.

À Ister, minha parceira de jornada acadêmica. Minha gratidão por termos sido uma dupla ao longo de toda a faculdade, enfrentando juntos cada semestre, disciplina e desafio que nos foram apresentados. Obrigado pelo profissionalismo, pelo respeito mútuo e por construir comigo uma amizade que levarei para além dos muros da universidade.

À minha irmã, por todo o incentivo, carinho e presença constante. Agradeço pela torcida silenciosa e por vibrar verdadeiramente com cada conquista minha ao longo desta jornada acadêmica.

Aos meus amigos, Juan, Pedro, Lucas Rafael, Lucas Correia, Gustavo, Emilly e Amanda, pela convivência, pelo apoio mútuo e por compartilharem comigo as alegrias e as angústias da vida. Ter vocês por perto fez toda a diferença nessa caminhada.

À minha orientadora, por me acolher e guiar desde os primeiros passos da minha vida acadêmica. Entrar na faculdade sabendo tão pouco e chegar até aqui sob a sua tutela foi um privilégio. Obrigado por cada puxão de orelha necessário, por incentivar e por me ensinar a pensar cientificamente desde o primeiro dia.

RESUMO

A crescente variação climática nas regiões tropicais impõe desafios à produção leiteira, em especial no que diz respeito ao estresse térmico por calor sofrido pelos animais, que compromete tanto a produção quanto a qualidade do leite. Este trabalho tem como objetivo analisar os efeitos das variáveis climáticas na produtividade e na composição do leite, bem como discutir estratégias de mitigação. Utilizou-se como metodologia o levantamento de revisão de literatura, com ênfase em dados zootécnicos, ambientais e fisiológicos. Os resultados dos trabalhos observados demonstram que o estresse térmico afeta negativamente a eficiência metabólica das vacas, reduz a ingestão alimentar, altera parâmetros reprodutivos e de composição do leite. Em contrapartida, estratégias como ambiência adequada, nutrição de precisão, seleção genética para rusticidade, podem ser alternativas viáveis para minimização deste impacto. Deste modo, a pecuária leiteira em regiões tropicais depende da adoção de práticas adequadas de manejo, nutrição, genética e conforto térmico para garantir a produtividade, o bem-estar animal e a sustentabilidade da atividade frente aos desafios climáticos.

Palavras-chave: adaptação; ambiência; estresse térmico; leite.

ABSTRACT

The increasing climatic variation in tropical regions poses challenges to dairy production, especially regarding heat stress suffered by animals, which compromises both milk production and quality. This work aims to analyze the effects of climatic variables on milk productivity and composition, as well as discuss mitigation strategies. The methodology used was a literature review, with emphasis on zootechnical, environmental, and physiological data. The results of the observed studies demonstrate that heat stress negatively affects the metabolic efficiency of cows, reduces feed intake, and alters reproductive and milk composition parameters. Conversely, strategies such as adequate environment, precision nutrition, and genetic selection for hardiness can be viable alternatives to minimize this impact. Thus, dairy farming in tropical regions depends on the adoption of appropriate management, nutrition, genetic, and thermal comfort practices to ensure productivity, animal welfare, and the sustainability of the activity in the face of climatic challenges.

Keywords: adaptation; environment; heat stress; milk.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCS – Contagem de Células Somáticas

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura)

IA – Inseminação Artificial

IATF – Inseminação Artificial em Tempo Fixo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

ITU – Temperature and Humidity Index (Índice de Temperatura e Umidade)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3. EFEITO DO CLIMA NA PRODUÇÃO LEITEIRA.....	10
3.1 Estresse térmico e seus impactos na produção leiteira.....	12
3.2 Influência de fatores climáticos na composição do leite.....	17
4. ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO E ALTERNATIVAS PARA A PRODUÇÃO LEITEIRA EM REGIÕES TROPICAIS.....	19
5. PERSPECTIVAS E SUSTENTABILIDADE.....	23
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
REFERÊNCIAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

A produção leiteira tem grande importância para a agropecuária, contribuindo significativamente para a geração de renda e para o abastecimento alimentar. Entretanto, as mudanças climáticas têm imposto desafios cada vez maiores ao setor, especialmente em decorrência do aumento das temperaturas e da ocorrência mais frequente de eventos climáticos extremos. Nesse contexto, o estresse térmico destaca-se como um dos principais fatores capazes de comprometer o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais, afetando diretamente a eficiência dos sistemas de produção (Bernabucci et al., 2010).

Diante desse cenário, surge a seguinte questão: de que forma as variações climáticas, especialmente aquelas relacionadas ao aumento da temperatura e da umidade do ar, influenciam a produtividade e a qualidade do leite produzido? Além dos impactos sobre o desempenho zootécnico dos animais, essas alterações podem gerar consequências econômicas para os produtores e comprometer a atividade leiteira. Compreender essa relação é fundamental para o desenvolvimento de estratégias capazes de minimizar os efeitos negativos do clima sobre a produção (Ranjitkar et al., 2020).

À medida que as mudanças climáticas se tornam mais evidentes, torna-se indispensável ampliar o conhecimento sobre seus efeitos na produção animal e buscar alternativas que favoreçam o bem-estar dos rebanhos e a manutenção da produtividade. Nesse sentido, pesquisas voltadas para a compreensão dos impactos do estresse térmico podem contribuir para a adoção de práticas de manejo mais eficientes (Gauly et al., 2013; Veltman et al., 2021).

A realização deste trabalho justifica-se pela importância de identificar os principais efeitos das condições climáticas sobre a produção leiteira e discutir estratégias que possam reduzir seus impactos. Além disso, o estudo contribui para a compreensão dos mecanismos fisiológicos envolvidos na adaptação dos animais ao calor e para a avaliação de tecnologias e práticas de manejo que auxiliem na manutenção da eficiência produtiva em diferentes sistemas de criação (Qi et al., 2015; Park et al., 2022).

O objetivo foi analisar a interferência dos fatores climáticos na produção de leite, com ênfase nos efeitos do estresse térmico sobre os animais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido por meio de uma revisão narrativa da literatura, com o objetivo de reunir e discutir informações relacionadas aos efeitos climáticos sobre a produção de leite, com ênfase no estresse térmico em bovinos leiteiros.

Para a elaboração do estudo, foram consultados artigos científicos, livros, dissertações, teses e publicações técnicas disponíveis em bases de dados nacionais e internacionais. A seleção do material considerou a relevância do tema, a atualidade das informações sobre os efeitos da temperatura, umidade relativa do ar e índices de conforto térmico sobre o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais, bem como estratégias de manejo utilizadas para reduzir os impactos do estresse térmico.

As informações obtidas foram analisadas de forma descritiva e comparativa, buscando identificar os principais resultados apresentados na literatura e suas contribuições para o entendimento da relação entre clima e produção de leite. Dessa forma, procurou-se construir uma visão ampla sobre os desafios enfrentados pela atividade leiteira diante das mudanças climáticas e as possíveis estratégias para sua adaptação e sustentabilidade.

3. EFEITO DO CLIMA NA PRODUÇÃO LEITEIRA

A produção de leite é uma atividade que depende da interação entre fatores genéticos, nutricionais, sanitários, de manejo e ambientais. Entre esses fatores, o ambiente exerce influência direta sobre o desempenho dos animais, especialmente em regiões tropicais, onde as elevadas temperaturas e a alta umidade podem comprometer a produtividade dos rebanhos leiteiros. Nesse contexto, o estresse térmico tem sido apontado como um dos principais desafios para a bovinocultura leiteira (Nardone et al., 2010).

Grande parte dos sistemas de produção leiteira utiliza raças especializadas, como a Holandesa, reconhecida por seu elevado potencial produtivo. Entretanto, esses animais foram desenvolvidos em regiões de clima temperado e apresentam menor capacidade de adaptação às condições climáticas encontradas em muitos países tropicais. Como consequência, quando expostos a temperaturas elevadas por períodos prolongados, podem apresentar redução no consumo de alimentos, alterações fisiológicas e queda na produção de leite (Hill; Wall, 2015).

O estresse térmico ocorre quando os mecanismos naturais de dissipação de calor do animal tornam-se insuficientes para manter a temperatura corporal dentro dos limites

considerados normais. Nessas condições, o organismo prioriza a manutenção da homeostase em relação a produção. Como resultado, observa-se redução da ingestão de matéria seca, alterações metabólicas e diminuição da produção leiteira (Habeeb et al., 2023).

Além dos efeitos sobre a quantidade de leite produzida, o estresse térmico também pode comprometer sua qualidade. Estudos indicam que períodos de calor intenso estão associados à redução dos teores de gordura, proteína e lactose, componentes fundamentais para o valor nutricional e industrial do leite. Essas alterações estão relacionadas à menor ingestão de nutrientes e às mudanças metabólicas desencadeadas pelo aumento da temperatura corporal (Silva et al. 2015; Dantas et al., 2016).

Diversos indicadores têm sido utilizados para avaliar o impacto das condições climáticas sobre os animais, sendo o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) um dos mais empregados. Esse índice combina informações de temperatura ambiente e umidade relativa do ar para estimar o grau de conforto térmico (Silva, 2000). Segundo Jeon et al. (2023), valores de ITU acima de 72 já podem causar prejuízos significativos ao desempenho produtivo de vacas leiteiras de alta produção.

Embora o ITU seja um índice amplamente utilizado, os efeitos do clima sobre os animais dependem também de outros fatores, como radiação solar, velocidade do vento, disponibilidade de sombra e características do sistema de criação. Dessa forma, a intensidade do estresse térmico pode variar mesmo em regiões que apresentam temperaturas semelhantes (Qi; Bravo-Ureta; Cabrera, 2015).

As consequências do estresse térmico não se limitam à produção de leite. Alterações hormonais e fisiológicas podem afetar negativamente a reprodução dos animais, reduzindo as taxas de concepção e aumentando as perdas embrionárias. Além disso, o aumento dos níveis de cortisol, hormônio relacionado ao estresse, pode comprometer o sistema imunológico, favorecendo o aparecimento de enfermidades e elevando os custos de produção (Bento; Limberger, 2025).

Diante desses desafios, diversas estratégias têm sido adotadas para minimizar os efeitos do calor sobre os rebanhos leiteiros. Entre elas destacam-se o fornecimento de sombra natural ou artificial, sistemas de ventilação e aspersão, adequação nutricional das dietas e melhorias no manejo dos animais. Essas medidas contribuem para aumentar o conforto térmico e reduzir as perdas produtivas, embora nem sempre eliminem completamente os efeitos do clima adverso (Qi, Bravo-Ureta ; Cabrera, 2015).

Além das práticas de manejo, a seleção de animais mais adaptados às condições ambientais locais tem sido considerada uma alternativa importante para a atividade. Características como resistência ao calor, rusticidade e longevidade produtiva vêm ganhando destaque nos programas de melhoramento genético, especialmente em regiões sujeitas a temperaturas elevadas durante grande parte do ano. No Brasil, a influência das condições climáticas sobre a produção leiteira varia entre as diferentes regiões. Enquanto áreas de clima mais ameno apresentam condições mais favoráveis para raças especializadas, regiões de temperaturas elevadas exigem maior investimento em estratégias de mitigação do estresse térmico. Dessa forma, a eficiência dos sistemas produtivos está diretamente relacionada à capacidade de adaptação dos animais e ao manejo adotado pelos produtores (Bento; Limberger, 2025).

Portanto, compreender os impactos das variáveis climáticas sobre a produção de leite é fundamental para o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e sustentáveis. A integração entre genética, nutrição, manejo e ambiência representa um dos principais caminhos para reduzir os efeitos do estresse térmico, promover o bem-estar animal e garantir a viabilidade econômica da atividade leiteira diante das mudanças climáticas atuais e futuras.

3.1 Estresse térmico e seus impactos na produção leiteira

O estresse térmico é considerado um dos principais fatores limitantes da produção leiteira em regiões tropicais e subtropicais. Essa condição ocorre quando a temperatura ambiente, associada à umidade relativa do ar e a outros fatores climáticos, ultrapassa a capacidade do animal de dissipar o calor corporal de forma eficiente. Como consequência, diversos processos fisiológicos são alterados, afetando o bem-estar, a saúde, a reprodução e a produtividade dos rebanhos leiteiros (Silanikove, 2000).

Os bovinos possuem mecanismos de termorregulação que permitem manter a temperatura corporal dentro de limites adequados. Entre esses mecanismos estão a perda de calor por condução, convecção, radiação e evaporação. Entretanto, quando as condições ambientais se tornam excessivamente quentes e úmidas, esses processos deixam de ser eficientes. Nessa situação, o animal passa a apresentar aumento da frequência respiratória, maior consumo de água e redução da atividade física como forma de minimizar a produção de calor metabólico (Ricci et al., 2013).

A dificuldade de dissipar calor provoca uma série de alterações fisiológicas importantes. Uma das primeiras respostas observadas é a redução do consumo de matéria seca. Ao ingerir menos alimento, o animal produz menos calor durante o processo digestivo, porém essa estratégia reduz a disponibilidade de nutrientes necessários para a produção de leite. Consequentemente, ocorre diminuição da produção diária e comprometimento da eficiência produtiva do rebanho. Além das alterações metabólicas, o estresse térmico desencadeia respostas hormonais significativas. O aumento da produção de cortisol, conhecido como hormônio do estresse, afeta negativamente diversos sistemas do organismo. Níveis elevados desse hormônio podem comprometer a resposta imunológica, aumentar a suscetibilidade a doenças e reduzir a eficiência dos processos produtivos (Silanikove, 2000).

Os impactos do estresse térmico vão além da redução do volume de leite produzido. Diversos estudos demonstram que a composição do leite também sofre alterações importantes durante períodos de calor intenso. Em geral, observa-se redução nos teores de gordura, proteína e lactose, componentes fundamentais para a qualidade nutricional e industrial do produto. Essas alterações resultam da menor ingestão alimentar e das mudanças metabólicas provocadas pelo estresse térmico, comprometendo não apenas a produtividade, mas também o valor comercial do leite (Bento; Limberger, 2025). Park et al. (2022), ao analisarem dados de fazendas leiteiras na Coreia do Sul, estimaram perdas médias de até 30% na produção diária durante os picos de calor, mesmo em propriedades com infraestrutura moderna.

Trata-se, pois, de um comprometimento qualitativo e quantitativo que atinge toda a cadeia produtiva. Outro fator que deve ser levado em consideração é o papel da radiação solar direta na intensificação do estresse térmico. Animais expostos ao sol sem sombreamento adequado acumulam calor de forma passiva, mesmo em temperaturas consideradas toleráveis à sombra. A carga térmica radiante contribui para o aumento da temperatura superficial do corpo, desencadeando respostas fisiológicas desproporcionais ao valor da temperatura ambiente registrada em estações meteorológicas convencionais (Gauly et al., 2013).

Em relação, aos ventos moderados, estes por sua vez, favorecem a convecção e auxiliam na dissipação do calor, enquanto a ausência total de movimento do ar cria microclimas que não auxiliam na evaporação do suor. Já ventos excessivos, associados à poeira e à evaporação intensa, podem gerar desconforto adicional, exigindo planejamento cuidadoso da ambiência nas instalações (Veltman et al., 2021). A umidade relativa do ar, mesmo em temperaturas moderadas pode provocar estresse térmico, pois o ar saturado dificulta a evaporação da água da superfície corporal. Combinadas, essas variáveis constituem

o chamado microclima do animal um conceito que vai além das médias meteorológicas regionais e considera as condições reais que afetam o corpo do bovino em tempo real. Silanikove (2000) afirma que o estresse térmico compromete múltiplos sistemas: digestório, endócrino, imunológico, reprodutivo.

As mudanças comportamentais também são evidentes. Vacas sob estresse térmico passam mais tempo em pé, procuram áreas sombreadas, aumentam o consumo de água e reduzem o tempo destinado à alimentação e à ruminação. Essas adaptações representam tentativas naturais de minimizar o desconforto causado pelo calor, porém acabam contribuindo para a redução do desempenho produtivo (Bernabucci et al., 2010).

Nos últimos anos, diversos pesquisadores têm chamado atenção para os impactos ambientais associados ao estresse térmico. A redução da eficiência alimentar faz com que os animais necessitem de maior quantidade de recursos para produzir a mesma quantidade de leite (Park et al., 2022).

Veltman et al. (2021) sugerem que qualquer tentativa de reduzir o impacto ambiental da produção leiteira deve começar pelo enfrentamento do estresse térmico. Melhorar a ambiência, selecionar para rusticidade, integrar árvores e pasto, contribui para reduzir a pegada de carbono da atividade. Mas é preciso maior entendimento e mudança cultural, pois, enquanto o problema for tratado como algo temporário, os desafios na bovinocultura de leite podem continuar.

O índice de temperatura e umidade (ITU), é calculado a partir da temperatura do ar e da umidade relativa, considerando o efeito que ambas exercem sobre a capacidade do animal de trocar calor com o ambiente. A fórmula mais comum é: $ITU = (1,8 \times T + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times UR) \times (1,8 \times T - 26)]$, em que T é a temperatura ambiente em °C e UR é a umidade relativa em porcentagem. Esse cálculo, aparentemente técnico, possui implicações profundas, pois, quando o valor do ITU ultrapassa 72, já se inicia o estresse térmico moderado. Acima de 78, a situação de desconforto térmico é acentuada (Silanikove, 2000; Ricci et al., 2013).

Apesar de sua ampla utilização, o ITU apresenta algumas limitações, uma vez que não considera fatores como radiação solar, velocidade do vento, características individuais dos animais e condições específicas de manejo. Dessa forma, sua interpretação deve ser realizada em conjunto com outros indicadores ambientais e fisiológicos, permitindo uma avaliação mais precisa das condições de conforto térmico.

Quando submetidos a ambientes com elevados índices de ITU, os bovinos ativam diversos mecanismos fisiológicos para manter a temperatura corporal dentro de limites

adequados. Entre as principais respostas observa-se o aumento da frequência respiratória, que favorece a dissipação de calor por evaporação. Além disso, ocorre vasodilatação periférica, direcionando maior fluxo sanguíneo para a superfície corporal e facilitando a perda de calor para o ambiente (Ricci et al., 2013).

Entretanto, esses mecanismos demandam elevado gasto energético e podem comprometer outras funções fisiológicas. A redução da ingestão de matéria seca constitui uma das principais adaptações observadas, pois o animal busca diminuir a produção de calor gerada durante os processos digestivos. Como consequência, há menor disponibilidade de nutrientes para manutenção e produção de leite.

O estresse térmico também afeta diretamente o metabolismo dos animais. O fígado apresenta redução na síntese de glicose e proteínas, comprometendo a oferta de nutrientes necessários para a produção leiteira. Paralelamente, alterações no funcionamento do rúmen podem modificar a fermentação ruminal e reduzir a produção de ácidos graxos voláteis, importantes fontes de energia para os bovinos. A diminuição da produção de saliva ainda favorece alterações no pH ruminal, aumentando o risco de distúrbios metabólicos e reduzindo a eficiência alimentar (Silanikove, 2000).

Além dos impactos produtivos, o estresse térmico interfere significativamente na reprodução dos rebanhos. A exposição prolongada ao calor reduz a manifestação do estro, compromete a qualidade dos gametas e altera a produção de hormônios relacionados à reprodução, entre eles, o GnRH que é produzido pelo hipotálamo e estimula a hipófise a liberar FSH e LH. O FSH promove o crescimento e desenvolvimento dos folículos ovarianos, enquanto o LH atua na maturação final do folículo, desencadeando a ovulação e a formação do corpo lúteo. Como resultado, observam-se menores taxas de concepção, aumento das perdas embrionárias e ampliação do intervalo entre partos, fatores que contribuem para a redução da eficiência reprodutiva e econômica dos sistemas de produção leiteira (Gaully et al., 2013).

Além das alterações fisiológicas e produtivas, o estresse térmico também provoca mudanças significativas no comportamento dos bovinos leiteiros. Animais submetidos a temperaturas elevadas tendem a reduzir o tempo destinado à alimentação, ruminação e descanso, buscando com maior frequência locais sombreados, fontes de água e ambientes com melhor circulação de ar. Em situações de calor intenso, é comum que as vacas concentrem o consumo de alimentos nos períodos mais amenos do dia, como início da manhã e final da tarde, reduzindo a ingestão durante as horas mais quentes.

O comportamento social dos animais também pode ser alterado. A disputa por áreas de sombra, bebedouros e locais mais confortáveis tende a aumentar, especialmente em sistemas com limitação desses recursos. Essas mudanças comportamentais podem resultar em maior estresse, redução do bem-estar animal e queda no desempenho produtivo.

Em regiões tropicais, os efeitos do estresse térmico são observados com frequência devido à combinação de altas temperaturas e elevada incidência de radiação solar. Ricci et al. (2013), em estudo realizado no Brasil Central, verificaram que vacas expostas à radiação solar direta por períodos prolongados apresentaram aumento da frequência respiratória, elevação da temperatura corporal e redução significativa na produção de leite. Esses resultados demonstram que a oferta de sombra e o adequado planejamento das instalações são fatores importantes para minimizar os efeitos do calor sobre os animais.

Além dos prejuízos produtivos, pesquisas recentes têm demonstrado que o estresse térmico pode influenciar a sustentabilidade dos sistemas de produção leiteira. Segundo Park et al. (2022), a redução da eficiência alimentar causada pelo calor aumenta a quantidade de recursos necessários para a produção de leite, contribuindo para maiores emissões de gases de efeito estufa por unidade produzida. Dessa forma, o estresse térmico representa não apenas um desafio zootécnico, mas também uma questão ambiental relevante.

As projeções climáticas indicam aumento na frequência e intensidade das ondas de calor em diversas regiões produtoras do mundo, tornando a adaptação dos sistemas de produção uma necessidade cada vez mais evidente (Gaully et al., 2013). Nesse contexto, a adoção de estratégias de mitigação, aliada ao melhoramento genético para características relacionadas à adaptação ao calor, assume papel fundamental para a sustentabilidade da atividade leiteira.

A busca por animais mais resistentes às condições climáticas adversas tem levado à valorização de características como rusticidade, tolerância ao calor, longevidade produtiva e eficiência reprodutiva. Raças adaptadas aos ambientes tropicais, bem como cruzamentos estratégicos, vêm sendo amplamente estudados como alternativas para reduzir os impactos do estresse térmico sem comprometer a produtividade dos rebanhos.

No Brasil, destacam-se raças e grupamentos genéticos adaptados às condições tropicais, como Guzerá, Girolando e Sindi, que apresentam maior resistência às altas temperaturas quando comparados a raças especializadas de origem europeia. Além disso, a bubalinocultura tem despertado interesse em determinadas regiões devido à capacidade dos

búfalos de se adaptarem a ambientes quentes e úmidos, constituindo uma alternativa produtiva em áreas com condições climáticas mais desafiadoras.

Diante desse cenário, torna-se evidente que a sustentabilidade da produção leiteira depende da integração entre genética, manejo, nutrição e ambiência. A adoção de práticas que promovam o conforto térmico e o bem-estar animal contribui não apenas para a manutenção da produtividade, mas também para a redução dos impactos ambientais e para a viabilidade econômica dos sistemas de produção a longo prazo.

3.2 Influência de fatores climáticos na composição do leite

A composição do leite está diretamente relacionada às condições fisiológicas dos animais, ao manejo adotado e às características do ambiente em que ocorre a produção. Dessa forma, alterações climáticas capazes de provocar estresse térmico também influenciam a qualidade do leite produzido, afetando seus principais constituintes, como gordura, proteína, lactose, minerais e a contagem de células somáticas. Essas modificações possuem importância não apenas do ponto de vista nutricional, mas também econômico e industrial, uma vez que interferem no rendimento e na qualidade dos produtos derivados do leite (Hill ; Wall, 2015).

Nas últimas décadas, diversos estudos demonstraram que o estresse térmico reduz não apenas o volume de leite produzido, mas também sua qualidade. Em regiões caracterizadas por elevadas temperaturas e alta umidade relativa do ar, observam-se alterações significativas na composição do leite, decorrentes principalmente das mudanças metabólicas e fisiológicas provocadas pelo calor excessivo (Mata e Silva et al., 2015).

Entre os componentes mais afetados está a gordura do leite. Durante períodos de estresse térmico, ocorre redução do consumo de matéria seca, especialmente de alimentos fibrosos. Como consequência, há diminuição da produção de ácido acético no rúmen, principal precursor da síntese de gordura na glândula mamária. Essa condição resulta em menores teores de gordura no leite, comprometendo seu valor energético e reduzindo seu potencial para a fabricação de derivados como manteiga, creme e diversos tipos de queijo (Jeon et al., 2023).

As proteínas do leite também sofrem influência das condições ambientais. O calor excessivo reduz a ingestão de nutrientes e compromete a disponibilidade de aminoácidos necessários para a síntese proteica. Além disso, alterações metabólicas no fígado e na glândula mamária podem reduzir a produção de proteínas importantes, como a caseína, que desempenha papel fundamental nos processos industriais de fabricação de queijos e outros

derivados. A redução do teor proteico representa prejuízo tanto para a indústria quanto para os produtores, especialmente em sistemas de pagamento baseados na qualidade do leite (Mata e Silva et al., 2015).

A lactose, principal carboidrato presente no leite, tende a apresentar menor variação quando comparada aos teores de gordura e proteína. Entretanto, em situações de estresse térmico prolongado, associadas a processos inflamatórios da glândula mamária, podem ocorrer alterações em sua concentração. Essas mudanças estão relacionadas ao comprometimento da integridade das células secretoras e ao aumento da permeabilidade da barreira mamária, fatores que podem interferir na composição final do leite.

Outro parâmetro amplamente utilizado para avaliar a qualidade do leite é a contagem de células somáticas (CCS). O aumento da CCS está frequentemente associado à ocorrência de mastite, uma das principais enfermidades que afetam a bovinocultura leiteira. Em períodos de temperaturas elevadas, observa-se maior incidência de mastites ambientais, favorecidas pela proliferação de microrganismos em ambientes quentes e úmidos. Além disso, o estresse térmico compromete a resposta imunológica dos animais, aumentando sua susceptibilidade às infecções intramamárias (Gupta et al., 2023). A elevação da CCS traz consequências importantes para a cadeia produtiva. Além de indicar comprometimento da saúde da glândula mamária, afeta a estabilidade do leite, reduz seu rendimento industrial e pode comprometer características sensoriais dos produtos derivados. Em muitos sistemas de comercialização, altos valores de CCS resultam em penalizações financeiras aos produtores, reduzindo a rentabilidade da atividade (Hill; Wall, 2015).

As alterações observadas na composição do leite possuem estreita relação com as mudanças fisiológicas provocadas pelo estresse térmico. Estudos realizados por Mata e Silva et al. (2015) demonstraram que vacas submetidas a temperaturas elevadas apresentam alterações hematológicas importantes, incluindo redução nos níveis de hemoglobina, hematócrito e proteínas plasmáticas. Essas alterações podem comprometer o transporte de nutrientes e oxigênio para os tecidos, refletindo diretamente na capacidade de síntese dos componentes do leite.

Além disso, o estresse térmico promove alterações na circulação sanguínea. Em condições de calor intenso, o organismo direciona maior fluxo sanguíneo para a superfície corporal com o objetivo de facilitar a dissipação de calor. Como consequência, pode ocorrer redução do aporte sanguíneo para órgãos internos e para a glândula mamária, diminuindo a disponibilidade de nutrientes necessários para a produção de leite (Habeeb et al., 2023).

A síntese láctea depende de uma série de processos fisiológicos integrados envolvendo metabolismo energético, equilíbrio hormonal, funcionamento adequado do sistema digestivo e eficiência circulatória. Quando o animal é submetido ao estresse térmico, esses mecanismos são comprometidos em diferentes níveis, resultando em alterações quantitativas e qualitativas na produção de leite. Dessa forma, os efeitos do calor não se limitam à redução da produtividade, mas afetam diretamente a qualidade do produto final.

Muitas vezes, os impactos sobre a composição do leite não são percebidos imediatamente pelos produtores, que tendem a concentrar sua atenção apenas no volume produzido. Entretanto, a redução dos teores de sólidos, associada ao aumento da CCS, pode comprometer significativamente o valor comercial do leite e reduzir sua competitividade no mercado. Por esse motivo, a avaliação da qualidade deve ser considerada tão importante quanto a avaliação da quantidade produzida (Gupta et al., 2023).

Diante desse cenário, torna-se fundamental adotar estratégias que minimizem os efeitos das condições climáticas adversas sobre os animais. Investimentos em ambiência, manejo nutricional, conforto térmico e melhoramento genético para características relacionadas à adaptação ao calor podem contribuir para a manutenção da qualidade do leite mesmo em regiões sujeitas a temperaturas elevadas (Silva, 2000).

Portanto, a composição do leite pode ser considerada um importante indicador das condições de saúde, nutrição e bem-estar dos animais. As alterações provocadas pelo estresse térmico evidenciam a necessidade de sistemas de produção mais adaptados às condições climáticas atuais, capazes de conciliar produtividade, qualidade do produto e sustentabilidade da atividade leiteira.

4. ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO E ALTERNATIVAS PARA A PRODUÇÃO LEITEIRA EM REGIÕES TROPICAIS

O aumento da frequência e da intensidade dos eventos climáticos extremos tem tornado o estresse térmico um dos principais desafios da pecuária leiteira moderna. Em regiões tropicais e subtropicais, onde temperaturas elevadas e alta umidade relativa do ar são frequentes durante grande parte do ano, os impactos sobre o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais tornam-se ainda mais evidentes. Nesse contexto, a adoção de estratégias de mitigação deixa de ser uma medida complementar e passa a representar um componente essencial para a sustentabilidade dos sistemas de produção leiteira (West, 2003).

Entre as principais estratégias utilizadas para reduzir os efeitos do calor sobre os animais, destaca-se a melhoria das condições de ambiência. O fornecimento de sombra natural ou artificial, associado a sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo, contribui significativamente para a redução da temperatura corporal dos animais e para a manutenção do conforto térmico. Em vacas de alta produção, a exposição prolongada a temperaturas superiores a 25 °C, especialmente quando associadas à elevada umidade relativa do ar, pode resultar em alterações fisiológicas importantes, comprometendo a ingestão alimentar, a produção de leite e a eficiência reprodutiva (Nardone et al., 2010).

Sistemas adequadamente planejados de ventilação e aspersão permitem reduzir a temperatura no interior das instalações, favorecendo a dissipação do calor corporal e melhorando o bem-estar dos animais. Entretanto, a implementação dessas tecnologias requer investimentos em infraestrutura, consumo energético e manutenção periódica, o que pode representar um desafio para pequenos e médios produtores. Dessa forma, a adoção de estratégias de mitigação térmica deve considerar não apenas a eficiência técnica das medidas, mas também sua viabilidade econômica dentro de cada realidade produtiva (Veltman et al., 2021).

A avaliação da eficácia dessas medidas pode ser realizada por meio do monitoramento de indicadores fisiológicos. Segundo Berman (2005), parâmetros como frequência respiratória elevada, aumento da temperatura retal e redução do tempo de alimentação são importantes sinais de desconforto térmico. A manutenção desses indicadores dentro de valores considerados adequados reflete a eficiência das práticas adotadas para minimizar os efeitos do calor sobre os animais (Dos Santos et al., 2021).

Além das melhorias ambientais, o manejo nutricional desempenha papel fundamental na mitigação dos efeitos do estresse térmico. Em condições de calor excessivo, a redução do consumo de matéria seca compromete a ingestão de nutrientes necessários para a produção de leite. Como estratégia de adaptação, recomenda-se o aumento da densidade energética das dietas por meio da utilização de ingredientes de maior valor nutricional, inclusão de gorduras protegidas e suplementação de vitaminas e minerais com ação antioxidante (West, 2003).

O balanceamento adequado das dietas torna-se ainda mais importante durante períodos de altas temperaturas. Embora a redução dos níveis de fibra possa contribuir para diminuir a produção de calor metabólico durante a digestão, níveis excessivamente baixos podem comprometer a saúde ruminal e favorecer distúrbios metabólicos. Nesse contexto, o uso de tamponantes, como bicarbonato de sódio, e de aditivos nutricionais específicos pode auxiliar

na manutenção da estabilidade ruminal e na eficiência alimentar dos animais. A disponibilidade de água também constitui um fator decisivo para a manutenção do conforto térmico. Vacas submetidas ao estresse térmico apresentam aumento significativo no consumo hídrico, podendo elevar suas necessidades em até 50%. Por esse motivo, o fornecimento contínuo de água limpa, fresca e de fácil acesso deve ser considerado prioridade dentro dos sistemas de produção leiteira. A qualidade da água influencia diretamente o comportamento ingestivo, a regulação da temperatura corporal e o desempenho produtivo dos animais (Daltro et al., 2018).

Outro aspecto importante refere-se ao melhoramento genético voltado para características de adaptação ao clima. Durante muitos anos, os programas de seleção priorizaram principalmente o aumento da produção de leite. Contudo, diante das mudanças climáticas atuais, cresce o interesse por características relacionadas à rusticidade, resistência ao calor, eficiência reprodutiva e longevidade produtiva. A inclusão desses parâmetros nos programas de melhoramento pode contribuir para a formação de rebanhos mais adaptados às condições ambientais predominantes em regiões tropicais (Gauly et al., 2013).

Diversos estudos demonstram que raças zebuínas e animais oriundos de cruzamentos adaptados apresentam maior tolerância ao calor quando comparados às raças taurinas especializadas. Essa adaptação resulta de características fisiológicas e anatômicas que favorecem a dissipação de calor e permitem melhor desempenho sob condições climáticas adversas. Nesse sentido, a utilização de materiais genéticos adaptados constitui uma importante estratégia para aumentar a resiliência dos sistemas produtivos (Daltro et al., 2018).

Os avanços tecnológicos também têm ampliado as possibilidades de monitoramento e prevenção do estresse térmico. Sensores de temperatura corporal, coleiras eletrônicas, sistemas automatizados de monitoramento e softwares de gestão permitem identificar precocemente alterações comportamentais e fisiológicas associadas ao desconforto térmico. Essas ferramentas possibilitam intervenções mais rápidas e precisas, contribuindo para a redução das perdas produtivas e para a melhoria do bem-estar animal.

Nesse processo, a participação dos produtores rurais é fundamental. A adoção de novas tecnologias e práticas de manejo depende não apenas da disponibilidade de recursos, mas também da capacitação técnica e da compreensão dos benefícios associados às mudanças propostas. Da mesma forma, instituições de pesquisa, universidades e serviços de extensão rural possuem papel importante na geração e difusão de conhecimentos que contribuam para a adaptação da atividade leiteira às novas condições climáticas.

As políticas públicas também exercem influência significativa nesse cenário. Programas de crédito rural, assistência técnica, incentivo à inovação e apoio à adoção de tecnologias voltadas para o conforto térmico podem acelerar o processo de adaptação dos sistemas produtivos. Investimentos direcionados à melhoria das condições de ambiência e ao fortalecimento da capacidade adaptativa dos rebanhos representam medidas importantes para reduzir perdas econômicas e aumentar a sustentabilidade da atividade (Aguilar et al., 2020).

Além dos impactos sobre a produtividade, o estresse térmico apresenta relação direta com a sustentabilidade ambiental da produção leiteira. Animais submetidos a condições inadequadas apresentam menor eficiência alimentar e produtiva, exigindo maior utilização de recursos para produzir a mesma quantidade de leite. Consequentemente, ocorre aumento das emissões de gases de efeito estufa por unidade produzida, reforçando a necessidade de sistemas mais eficientes e adaptados às condições climáticas locais (Veltman et al., 2021).

Diante desse contexto, a integração entre eficiência produtiva, bem-estar animal e sustentabilidade ambiental torna-se indispensável. Sistemas capazes de proporcionar conforto térmico adequado, utilização eficiente dos recursos naturais e manutenção da produtividade apresentam maiores possibilidades de permanência e competitividade em um cenário marcado pelas mudanças climáticas.

Paralelamente às estratégias voltadas para a bovinocultura leiteira, a bubalinocultura surge como uma alternativa promissora para determinadas regiões de clima quente e úmido. Os búfalos apresentam elevada rusticidade, boa capacidade de adaptação a ambientes tropicais e maior resistência a diversas condições ambientais adversas. Essas características tornam a espécie particularmente interessante para áreas onde os desafios climáticos limitam a eficiência da produção bovina convencional (Embrapa Amazônia Oriental, 2021).

Estudos demonstram que os bubalinos mantêm desempenho produtivo satisfatório mesmo sob temperaturas elevadas, especialmente quando dispõem de áreas sombreadas e acesso à água para banhos, comportamento que auxilia naturalmente na termorregulação corporal (Zicarelli, 2005). Além disso, apresentam capacidade de aproveitamento de forragens de menor qualidade e adaptação a ambientes alagadiços, ampliando as possibilidades de utilização em diferentes sistemas produtivos.

O leite de búfala destaca-se por seus elevados teores de gordura e proteína, características que proporcionam maior rendimento industrial na fabricação de queijos e outros derivados lácteos. Segundo Garcia et al. (2023), essa composição diferenciada agrega valor ao produto final e amplia seu potencial de inserção em mercados especializados.

Dessa forma, a bubalinocultura representa uma alternativa complementar à bovinocultura leiteira, especialmente em regiões onde as condições ambientais impõem limitações à produção tradicional. O fortalecimento da pesquisa, da assistência técnica e das políticas de incentivo voltadas para essa atividade pode contribuir para a diversificação dos sistemas produtivos e para o aumento da sustentabilidade da produção de leite em ambientes tropicais.

Portanto, a mitigação do estresse térmico deve ser entendida como um dos pilares fundamentais da pecuária leiteira contemporânea. A combinação entre melhorias na ambiência, manejo nutricional adequado, seleção genética, uso de tecnologias de monitoramento e adoção de sistemas produtivos compatíveis com as condições ambientais locais constitui o caminho mais promissor para garantir produtividade, qualidade do leite, bem-estar animal e sustentabilidade diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

5. PERSPECTIVAS E SUSTENTABILIDADE

A produção leiteira em regiões tropicais vive um momento decisivo. Os desafios impostos pelas mudanças climáticas deixaram de ser eventos ocasionais e passaram a fazer parte da rotina das propriedades rurais. O aumento das temperaturas, a irregularidade das chuvas, os períodos prolongados de seca e os eventos climáticos extremos vêm alterando profundamente as condições de produção. Diante desse cenário, torna-se evidente que a sustentabilidade da atividade dependerá cada vez mais da capacidade de adaptação dos sistemas produtivos. Não se trata apenas de produzir mais leite, mas de produzir de forma eficiente, economicamente viável e ambientalmente responsável, respeitando os limites impostos pelo clima e pelas características de cada região (IBGE, 2022; Vieira et al., 2020).

As projeções climáticas divulgadas pelo IPCC (2021) indicam que as áreas tropicais e subtropicais estarão entre as mais afetadas pelo aquecimento global nas próximas décadas. O aumento da temperatura média, associado à maior frequência de ondas de calor e alterações nos regimes pluviométricos, tende a intensificar os desafios já enfrentados pelos produtores de leite. Em regiões semiáridas, a escassez hídrica poderá comprometer a produção de forragens e a disponibilidade de água para os animais. Em áreas mais úmidas, a combinação entre calor e umidade favorecerá a ocorrência de estresse térmico, reduzindo a eficiência produtiva dos rebanhos. Diante dessa realidade, a gestão climática deixa de ser uma alternativa e passa a ser uma necessidade estratégica para a sobrevivência da atividade.

Nesse contexto, o mapeamento das áreas mais vulneráveis assume papel fundamental. Conhecer as particularidades climáticas, produtivas e socioeconômicas de cada território permite desenvolver estratégias mais eficientes de adaptação. A integração de informações provenientes de censos agropecuários, levantamentos meteorológicos e projeções climáticas pode auxiliar na identificação de regiões que necessitam de investimentos prioritários em infraestrutura, assistência técnica e tecnologias adaptativas. Mais do que identificar problemas, esse diagnóstico possibilita antecipar cenários e planejar ações capazes de reduzir riscos futuros (IBGE, 2022; CETESB, 2021).

O planejamento adaptativo surge, assim, como uma das principais ferramentas para enfrentar os desafios climáticos. Durante muito tempo, grande parte das propriedades rurais baseou suas decisões em experiências acumuladas ao longo dos anos. Embora esse conhecimento continue sendo extremamente valioso, o contexto atual exige a incorporação de novas ferramentas de gestão. O uso de informações meteorológicas, modelos preditivos, sistemas de monitoramento ambiental e indicadores zootécnicos torna-se essencial para orientar decisões relacionadas à alimentação, reprodução, manejo sanitário e bem-estar animal. A propriedade leiteira moderna não será apenas produtiva, será também capaz de antecipar riscos e responder rapidamente às mudanças do ambiente (FAO, 2018).

Diversas iniciativas já apontam caminhos promissores. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2018) propõe o conceito de pecuária inteligente para o clima, que busca conciliar aumento da produtividade, adaptação às mudanças climáticas e redução dos impactos ambientais. No Brasil, instituições como a Embrapa vêm desenvolvendo tecnologias voltadas para sistemas mais resilientes, integrando práticas de manejo, conservação ambiental e eficiência produtiva. Essas iniciativas demonstram que é possível construir modelos de produção capazes de gerar renda sem comprometer os recursos naturais que sustentam a própria atividade (Embrapa, 2020).

No entanto, a construção dessa nova realidade exige mais do que tecnologia. Exige também valorização do conhecimento acumulado pelos produtores ao longo das gerações. Em muitas regiões do país, especialmente entre agricultores familiares, existe uma compreensão profunda dos sinais do ambiente, do comportamento dos animais e das estratégias de convivência com condições adversas. Esse conhecimento representa uma fonte valiosa de informações que pode complementar a pesquisa científica e contribuir para o desenvolvimento de soluções mais adequadas às realidades locais. As redes colaborativas também ganham destaque nesse cenário, entre elas, cooperativas, associações de produtores, técnicos

extensionistas, universidades e órgãos públicos podem atuar de forma conjunta na construção de sistemas produtivos. O compartilhamento de experiências bem-sucedidas, resultados de pesquisas e estratégias de manejo contribui para acelerar a adoção de práticas adaptativas e reduzir custos de implementação. Em um contexto marcado por desafios cada vez mais complexos, o trabalho coletivo torna-se um dos principais instrumentos de fortalecimento da cadeia produtiva (Vieira et al., 2025).

Paralelamente, a inovação tecnológica vem ampliando as possibilidades de monitoramento e gestão das propriedades. Ferramentas de agricultura digital, sensores ambientais, softwares de gestão, sistemas de monitoramento remoto e plataformas baseadas em inteligência artificial oferecem informações cada vez mais precisas sobre o ambiente e o desempenho dos animais. Essas tecnologias permitem identificar situações de risco antes que elas causem prejuízos significativos, contribuindo para tomadas de decisão mais rápidas e eficientes. Embora ainda existam desafios relacionados ao custo e ao acesso, a tendência é que essas ferramentas se tornem cada vez mais presentes na realidade da produção leiteira tropical. O poder público possui papel estratégico nesse processo de transformação.

Investimentos em infraestrutura rural, ampliação do acesso à internet no campo, linhas de crédito específicas para adaptação climática e programas de assistência técnica podem acelerar significativamente a adoção de práticas sustentáveis. Além disso, políticas públicas voltadas para a valorização da produção ambientalmente responsável podem criar incentivos econômicos importantes para os produtores que investem em bem-estar animal, conservação ambiental e eficiência produtiva (Vieira et al., 2025).

Sob a perspectiva econômica, a sustentabilidade da produção leiteira depende da construção de mecanismos capazes de remunerar adequadamente os produtores que adotam boas práticas. A valorização da qualidade do leite, o fortalecimento de sistemas de certificação, o incentivo à agroindustrialização regional e o desenvolvimento de mercados diferenciados representam oportunidades importantes para agregar valor à produção. Produtos obtidos em sistemas adaptados às condições climáticas locais podem conquistar espaço crescente junto a consumidores cada vez mais atentos às questões ambientais e sociais.

Ao mesmo tempo, os desafios climáticos também podem representar oportunidades de inovação. Regiões historicamente consideradas limitantes para a produção de leite podem se tornar laboratórios de desenvolvimento de novas tecnologias e estratégias de adaptação. O semiárido brasileiro, por exemplo, reúne condições únicas para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais eficientes no uso da água, mais adaptados ao calor e mais resilientes

às variações climáticas. As soluções construídas nesses ambientes poderão servir de referência para outras regiões do mundo que enfrentam desafios semelhantes (Vieira et al., 2020).

Da mesma forma, torna-se necessário reconhecer que o clima não é um obstáculo temporário, mas um componente permanente da atividade. Adaptar horários de manejo, investir em conforto térmico, selecionar animais mais resistentes e otimizar o uso dos recursos naturais são medidas que deixam de ser diferenciais e passam a ser requisitos básicos para a permanência da atividade.

Mais do que produzir leite, o desafio das próximas décadas será produzir de forma harmoniosa com o ambiente. Uma pecuária que reconheça os limites climáticos, respeite o bem-estar animal, valorize o produtor e preserve os recursos naturais terá maiores condições de permanecer competitiva e relevante. Nesse novo cenário, o leite deixa de ser apenas um produto agropecuário e passa a representar a capacidade de adaptação, inovação e sustentabilidade de toda uma cadeia produtiva.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão de literatura evidenciou que as variáveis climáticas exercem influência direta sobre a produção leiteira, afetando aspectos fisiológicos, produtivos, reprodutivos dos animais. O estresse térmico destaca-se como um dos principais fatores limitantes da atividade em regiões tropicais, uma vez que compromete o consumo alimentar, altera o metabolismo, reduz a produção e a qualidade do leite e interfere negativamente no desempenho reprodutivo dos rebanhos. Dessa forma, compreender a relação entre ambiente e produtividade torna-se fundamental para a manutenção da eficiência dos sistemas de produção leiteira.

Ao longo do trabalho, verificou-se que a mitigação dos efeitos do calor depende da adoção conjunta de estratégias de manejo, nutrição, melhoramento genético e ambiência. Medidas como o fornecimento de sombra, ventilação adequada, acesso à água de qualidade, utilização de animais mais adaptados às condições climáticas locais e investimentos em tecnologias de monitoramento contribuem significativamente para reduzir os impactos do estresse térmico. Além disso, alternativas como a utilização de raças mais adaptadas ao clima tropical e o fortalecimento da bubalinocultura podem representar importantes oportunidades para sistemas produtivos localizados em regiões de maior vulnerabilidade climática.

Portanto, a sustentabilidade da pecuária leiteira dependerá cada vez mais da capacidade de adaptação dos sistemas de produção às mudanças ambientais. O desenvolvimento de pesquisas voltadas à adaptação climática, aliado à assistência técnica, à inovação tecnológica e à implementação de políticas públicas adequadas, será essencial para garantir a competitividade, a rentabilidade e a permanência da atividade leiteira nos próximos anos.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, S. C., et al. Sustentabilidade da pecuária leiteira do semiárido brasileiro com base em vulnerabilidade e resiliência socioecológica. **Revista Ibero-Americana De Ciências Ambientais**, v. 11, n. 2, p. 236–248, 2020.
<https://doi.org/10.6008/CBPC21796858.2020.002.0025>
- BENTO, Flávio Gomes; LIMBERGER, Taisa Fernanda Conceição Santos. O IMPACTO DO ESTRESSE TÉRMICO NA PRODUÇÃO DE VACAS LEITEIRAS . **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 11, n. 9, p. 3739–3750, 2025. DOI: 10.51891/rease.v11i9.21158. Disponível em:
<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/21158>. Acesso em: 12 jun. 2026.
- BERMAN, A. Indicators of heat stress in dairy cows. **Journal of Animal Science**, v. 83, p. 307–310, 2005.
- BERNABUCCI, U. et al. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, v. 4, n. 7, p. 1167–1183, 2010.
- CETESB. **Mudanças climáticas e agropecuária: desafios e políticas públicas**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 29 de março de 2025.
- DALTRO, A. M. et al. Efeito do estresse térmico por calor na produção de vacas leiteiras. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 26, n. 1, p. 288-311, 2020. Disponível em:
<https://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/666>. Acesso em: 18 ago. 2025
- DANTAS, M. et al. Termorregulação de bovinos em ambiente tropical: uma abordagem com ênfase nas respostas fisiológicas. **Pubvet**, v.6, 2016. 10.22256/pubvet.v16n7.1306.
- DOS SANTOS, M. M. Revisão de literatura: impactos do estresse térmico em vacas leiteiras. **Scientia Generalis**, v. 2, n. 1, p. 121-121, 2021. Disponível em:
<http://www.scienciageneralis.com.br/index.php/SG/article/view/316>.
- EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Produção leiteira de búfalas em ambientes tropicais**. Belém: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 29 de março de 2025.
- EMBRAPA. **Mudanças climáticas e agropecuária tropical**. Brasília: Embrapa, 2020. Disponível em:
<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1111007/mudancas-climaticaseagropecuaria-tropical>. Acesso em: 29 de março de 2025.
- FAO. **Climate-smart livestock production**. Roma: FAO, 2018. Disponível em:
<https://www.fao.org/3/i8384en/I8384EN.pdf>. Acesso em: 29 de março de 2025.

GAULY, M. et al. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe: a review. **Animal: an international journal of animal bioscience**, v. 7, n. 5, p. 843–859, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731112002352>. Acesso em: 29 de março de 2025.

GUPTA, S.; SHARMA, A.; JOY, A.; DUNSHEA, F.R.; CHAUHAN, S.S. The Impact of Heat Stress on Immune Status of Dairy Cattle and Strategies to Ameliorate the Negative Effects. **Animals**, v.13, p.107, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13010107>

HABEEB, A.A., et al. The detrimental impact of high environmental temperature on physiological response, growth, milk production, and reproductive efficiency of ruminants. **Trop Anim Health Prod**, v. 55, n. 388, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11250023-03805-y>.

HILL, D.; WALL, E. Dairy cattle in a temperate climate: the effects of weather on milk yield and composition depend on management. **Animal: an international journal of animal bioscience**, v. 9, n. 1, p. 138–149, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731114002456>. Acesso em: 29 de março de 2025.

IBGE. **Censo agropecuário: produção de leite**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 29 de março de 2025.

IPCC. **Climate Change 2021: impacts, adaptation and vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2>. Acesso em: 29 de março de 2025.

JEON, E. et al. Impact of climate change and heat stress on milk production in Korean Holstein cows: a large-scale data analysis. **Animals: an Open Access Journal from MDPI**, v. 13, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani13182946>. Acesso em: 29 de março de 2025.

MATA E SILVA, B. C. et al. **Efeito dos fatores climáticos sobre a composição química do leite e a composição hematológica de vacas holandesas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 19., 2009, Águas de Lindóia. Anais [...]. Montes Claros: UFMG, 2009.

NARDONE, A. et al. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**, v. 130, n. 1-3, p. 57–69, 2010.

PARK, G. et al. Estimating milk production losses by heat stress and its impacts on greenhouse gas emissions in Korean dairy farms. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 64, p. 770–781, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5187/jast.2022.e134>. Acesso em: 29 de março de 2025.

QI, L.; BRAVO-URETA, B.; CABRERA, V. From cold to hot: climatic effects and productivity in Wisconsin dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 12, p. 8664–8677, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9536>. Acesso em: 29 de março de 2025.

RANJITKAR, S. et al. Will heat stress take its toll on milk production in China? **Climatic Change**, v. 161, p. 637–652, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-02002688-4>. Acesso em: 29 de março de 2025.

RICCI, G. D.; ORSI, A. M.; DOMINGUES, P. F. **Estresse calórico e suas interferências no ciclo de produção de vacas de leite – revisão**. Veterinária e Zootecnia, v. 20, n. 3, 2013.

SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock Production Science**, v. 67, n. 1-2, p. 1–18, 2000.

SILVA, L. K. X. et al. Desempenho zootécnico e composição do leite de búfalas em sistemas tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 44, n. 2, p. 68–74, 2015.

SILVA, R. G. **Introdução à biometeorologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000.

VELTMAN, K. et al. Assessing and reducing the environmental impact of dairy production systems in the northern US in a changing climate. **Agricultural Systems**, v. 192, 103170, 2021.

VIEIRA, A. M.; PEREIRA, C. C.; TARDELLI, C. M.; PIRES, M. M.; SOUZA, Z. D. de; OLIVEIRA, T. Évellin de; RAMIRIO, L. D. Impactos das mudanças climáticas na produção agrícola. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 22, n. 12, p. e20877, 2025. DOI:

10.54033/cadpedv22n12-224. Disponível em:

<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/20877>. Acesso em: 12 jun. 2026.

WEST, J. W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 86, n. 6, p. 2131–2144, 2003.

ZICARELLI, L. Bubaline lactation under tropical conditions. In: Borghese, A. (Ed.). **Buffalo production and research**. Roma: FAO, 2005. p. 105–118. Disponível em:

<https://www.fao.org/3/y6398e/y6398e00.htm>. Acesso em: 29 de março de 2025.