



# **CONFORTO TÉRMICO DE BOVINOS**

EM SISTEMAS INTEGRADOS

ANA KARINA DIAS SALMAN  
ELAINE COIMBRA DE SOUZA  
ODILENE DE SOUZA TEIXEIRA  
RAUL DIRCEU PAZDORA

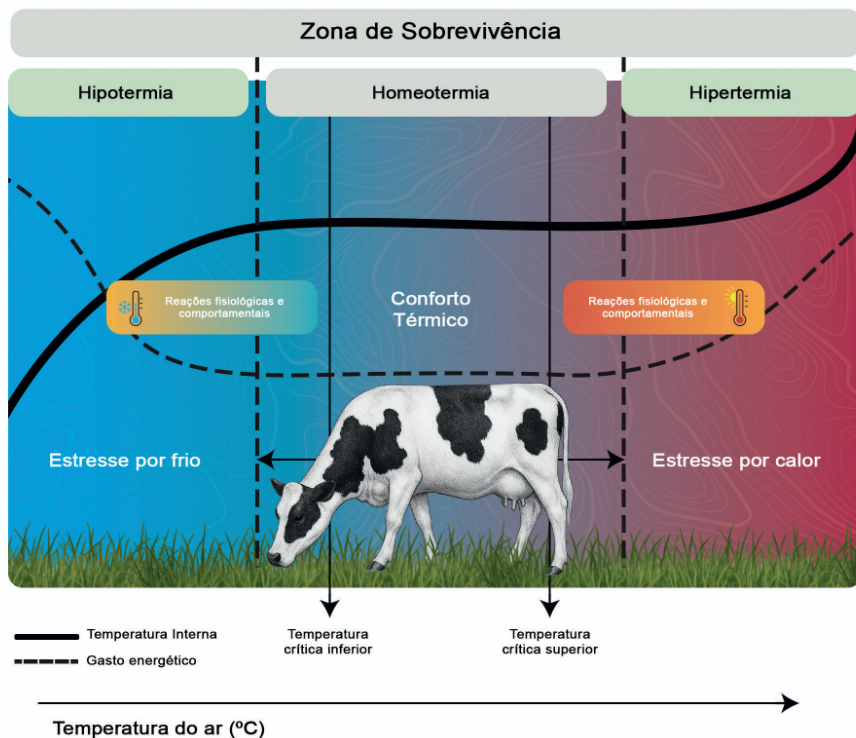
A manutenção da temperatura corporal nos limites de normalidade é fundamental para os bovinos desempenharem suas funções fisiológicas de maneira eficiente, como a digestão e a produção de leite e carne. Dessa forma, a produtividade de bovinos em sistemas a pasto está diretamente associada ao conforto térmico. Este capítulo tem como objetivo abordar os conceitos relacionados ao estresse térmico e os impactos desse fenômeno na produtividade de bovinos em pastejo, além de apresentar os principais indicadores que permitem identificar situações de desconforto térmico e algumas estratégias de mitigação.

### 3.1. Entendendo o estresse térmico em bovinos

Os bovinos são animais homeotérmicos, ou seja, possuem a capacidade de manter a temperatura corporal constante, independentemente das variações na temperatura ambiental (Baêta; Souza, 2010). Em condições de calor ou frio, esses animais mantêm sua temperatura corporal entre 38,5°C e 39,5°C (Pires, 2006). A homeostase é o processo pelo qual um organismo mantém estáveis as condições internas necessárias para a vida, sendo a regulação da temperatura corporal um exemplo clássico desse mecanismo. Para se adaptar às variações climáticas ao longo do dia, os bovinos realizam mudanças comportamentais, fisiológicas e metabólicas para equilibrar a termogênese (produção de calor) e a termólise (perda de calor) (Arfuso et al., 2016; Brown-Brandl, 2018). Entretanto, quando esses animais são expostos a temperaturas fora de sua Zona de Conforto Térmico (ZCT), podem sofrer um desequilíbrio na homeostase (Baêta; Souza, 2010; Hill; Wall, 2015). Esse fenômeno ocorre quando as trocas de calor entre o ambiente e o animal são ineficientes, resultando em estresse térmico (Herbut et al., 2018).

A ZCT, também denominada zona de termoneutralidade ou zona termoneutra, corresponde à faixa de temperatura ambiental na qual o menor esforço é exigido do animal para a regulação da temperatura corporal. Dentro dessa faixa, o animal encontra-se em condições ideais de conforto e apresenta a taxa de crescimento mais acelerada. A ZCT é variável e depende de fatores como espécie, raça, idade, estado fisiológico, estado de saúde, nível de produção, consumo alimentar, composição da dieta, isolamento térmico proporcionado pelo tecido adiposo e pela pele, características do pelo, condições de alojamento e grau de adaptação (Ahmed et al., 2015; Kerr, 2015;

Lees et al., 2019). Os limites de temperatura crítica superior e inferior da ZCT (Figura 3.1) determinam as condições em que o animal pode estar sujeito ao estresse térmico por calor ou frio (Ahmed et al., 2015).



**Figura 3.1.** Zona de conforto térmico (ZCT) ou de termoneutralidade de ruminantes.

Fonte: Adaptado de Aparecido et al. (2022).

Para bovinos leiteiros, a zona de conforto situa-se entre 5°C e 25°C, podendo variar entre 24°C e 27°C no limite superior (Fuquay, 1981; Youlsey, 1985). Para bovinos de corte, a Comunidade Europeia recomenda um limite de temperatura de 30°C, com umidade relativa inferior a 80%. Acima desse percentual, sugere-se uma temperatura de 27°C (Scahaw, 2001), uma vez que variações distintas das mencionadas podem comprometer a dissipação

de calor dos animais. Valores semelhantes a esses também são considerados por Baêta e Souza (2010), que definem a ZCT para zebuínos entre 10°C e 27°C, com um limite de temperatura crítica superior de 35°C e umidade relativa do ar variando entre 60% e 70%.

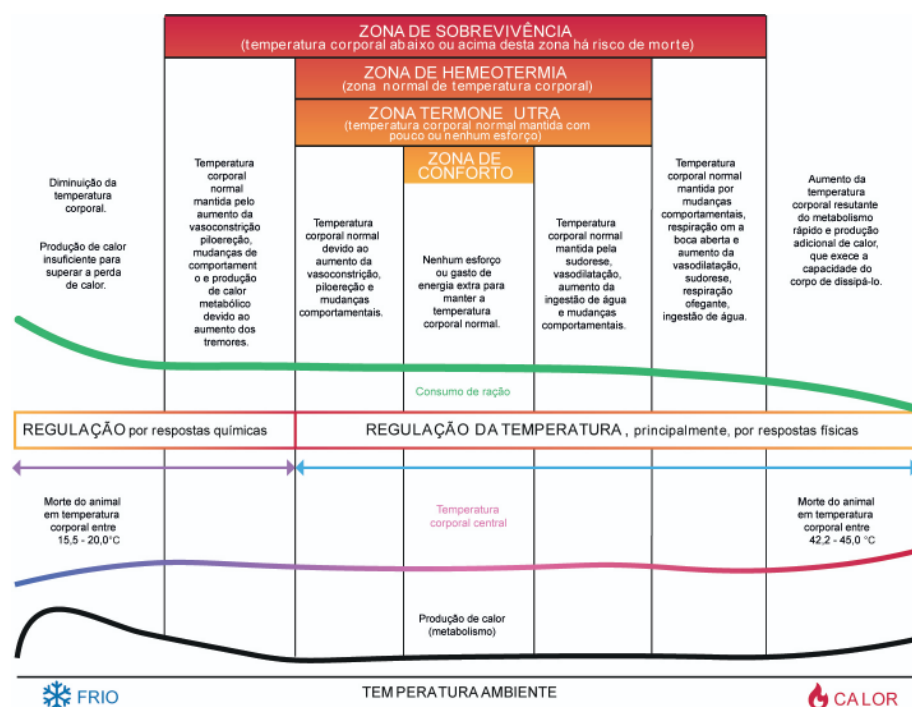
A Figura 3.2 sintetiza as respostas de um mamífero às mudanças nas temperaturas ambientais em diferentes faixas da ZCT ou de termoneutralidade (Kerr, 2015). O estresse calórico afeta principalmente os bovinos leiteiros de alta produção, devido à sua maior eficiência na utilização dos alimentos e à elevada taxa metabólica. Dessa forma, quanto maior a produção leiteira de um animal, maior é a ingestão de alimentos e, conseqüentemente, maior é a geração de calor metabólico proveniente dos processos digestivos. Esse fator implica um aumento da produção de calor interno nesses animais, dificultando o processo biológico da homeostase (Tao et al., 2020).

Por outro lado, os bovinos destinados à produção de carne apresentam uma taxa metabólica inferior, em razão de um trato digestivo menor, e, conseqüentemente, menor produção de calor interno, o que lhes confere maior eficiência na dissipação térmica (Summer et al., 2019). Além disso, ao se considerar o estresse calórico, torna-se fundamental avaliar a raça do animal, uma vez que os zebuínos demonstram maior tolerância ao calor em comparação com os animais de origem europeia (Hansen, 2004; Gaughan et al., 2010). Esse fenômeno decorre de características adaptativas dos zebuínos, tais como maior volume e número de glândulas sudoríparas, além de pelos curtos e grossos, que facilitam a dissipação do calor por meio da sudorese (Barbosa et al., 2014; Nascimento et al., 2015); maior densidade de folículos pilosos, proporcionando maior proteção contra o ganho de calor radiante (Jian et al., 2014); e epiderme altamente pigmentada, que confere maior resistência à radiação ultravioleta (Bianchini et al., 2006).

Animais de pelagem preta ou escura podem ser ainda mais suscetíveis ao estresse calórico do que aqueles de pelagem clara, ao absorverem maior quantidade de calor e apresentam maior dificuldade em dissipá-lo. Gaughan et al. (2010) constataram que animais de pelagem branca conseguiram tolerar três graus a mais de carga térmica antes de experimentarem estresse térmico, em comparação com aqueles de pelagem preta. No caso específico da raça Nelore, os pelos curtos e lustrosos, de coloração clara, atuam como isolantes térmicos eficientes, auxiliando na dissipação do calor excessivo.



Além disso, esses animais possuem pele pigmentada (Trigo et al., 2021) e apresentam resistência a parasitas, contribuindo para sua imunidade contra doenças tropicais. A capacidade de aproveitar alimentos fibrosos e de baixa qualidade nutricional também é um fator determinante para sua adaptação, permitindo a manutenção da condição corporal mesmo em ambientes adversos (Karthickeyan et al., 2008). Essas características fazem dos bovinos Nelore a escolha predominante para a pecuária em regiões de clima tropical, onde sua resistência e adaptabilidade são amplamente reconhecidas pelos pecuaristas. No Brasil, estima-se que 80% do rebanho bovino destinado à produção de carne seja composto por animais da raça Nelore (Trigo et al., 2021).



**Figura 3.2.** Mecanismos de regulação da temperatura corporal em mamíferos em resposta à variação na temperatura ambiental

Fonte: Adaptado de Bianca (1968), Silanikove (2000) e Kerr (2015).

### 3.2 Impacto do estresse térmico na produtividade de bovinos

O conhecimento dos limites aceitáveis de estresse calórico em animais de produção pode ser aplicado na otimização das decisões de manejo, a fim de evitar impactos negativos no bem-estar e, consequentemente, na produtividade animal (Gernand et al., 2019). Em situações de estresse térmico, o desempenho produtivo dos animais é comprometido (Slimen et al., 2016). Nesse contexto, foi realizado um estudo no Campo Experimental da Embrapa Rondônia, no município de Porto Velho, com o objetivo de avaliar o desempenho de vacas leiteiras da raça Girolando, cuja média diária de produção foi de 19 kg de leite, em pastagem de BRS Zuri, suplementadas com concentrado à base de milho e farelo de soja contendo 16% de proteína bruta. Os resultados indicaram uma redução de 6% na produção diária de leite corrigido para 4% de gordura quando as vacas foram mantidas em áreas sem acesso à sombra (Tabela 3.1). Embora o referido estudo não tenha identificado variações na composição do leite, há relatos na literatura sobre os efeitos do estresse térmico nesse aspecto. Bernabucci et al. (2015), por exemplo, observaram uma diminuição no teor de gordura do leite de vacas da raça Holandesa Italiana durante o verão, em comparação com o inverno e a primavera. Da mesma forma, Cowley et al. (2015) constataram um menor teor de proteína no leite de vacas submetidas a condições climáticas adversas. Além disso, verificou-se uma redução na produção de queijo (quantidade de queijo obtida por 100 kg de leite) e na qualidade do produto, devido ao aumento do pH do leite (superior a 6,68) proveniente de animais em situações de estresse térmico (Summer et al., 2019).

**Tabela 3.1** Média da produção de leite (PL), produção de leite corrigida para 4% de gordura (PLCG), teores de gordura, proteína e extrato seco desengordurado (ESD) do leite produzido por vacas Girolando em pastagem a pleno sol ou com acesso à sombra.

| Tratamento      | PL<br>(kg/dia) | PLCG<br>(kg/dia)        | Gordura<br>(%) | Proteína<br>(%) | ESD<br>(%) |
|-----------------|----------------|-------------------------|----------------|-----------------|------------|
| Acesso a sombra | 15,42±3,52     | 18,19±3,96 <sup>a</sup> | 4,44±0,96      | 0,93±0,12       | 8,90±0,20  |
| Pleno sol       | 14,42±3,48     | 17,00±3,74 <sup>a</sup> | 4,74±0,66      | 0,89±0,12       | 9,00±0,20  |

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey-Kramer.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nos sistemas de produção de carne, o impacto do estresse térmico varia conforme a fase de produção animal (cria, recria, engorda), a categoria animal (vacas em aleitamento/reprodutores e animais em crescimento), o sistema de produção, além da extensão e duração do estresse. Este último fator é especialmente relevante, pois, diferentemente da bovinocultura leiteira, na qual as perdas ocorrem diariamente, na bovinocultura de corte, o animal pode recuperar as perdas por meio do ganho compensatório (Summer et al., 2019). No entanto, a capacidade de recuperação está diretamente associada à extensão e à duração do estresse calórico. Caso a recuperação não ocorra, há perdas no peso da carcaça e redução na espessura de gordura (Marchesini et al., 2018). Além disso, animais abatidos em períodos nos quais a temperatura e a umidade do ar provocam estresse térmico apresentam carne de qualidade inferior, com pH elevado (superior a 5,5), comprometendo a maciez e a coloração do produto cárneo (Kadim et al., 2004; Węglarz, 2010; Al Amri et al., 2021).

O estresse térmico pode impactar significativamente a eficiência reprodutiva de ruminantes. Temperaturas elevadas e altos índices de umidade podem desencadear uma série de efeitos adversos, como redução na taxa de concepção, aumento no intervalo entre partos e diminuição na taxa de sobrevivência de embriões. Além disso, esse fator pode comprometer a

qualidade dos gametas, reduzindo a viabilidade dos espermatozoides e ovócitos (Dash et al., 2016; Van Wettere et al., 2021). As fêmeas podem apresentar irregularidades no ciclo estral, resultando em dificuldades na sincronização da ovulação e menor taxa de fertilização. Nos machos, o estresse térmico pode ocasionar a redução na produção e na qualidade dos espermatozoides, prejudicando a fertilidade (Singh et al., 2021).

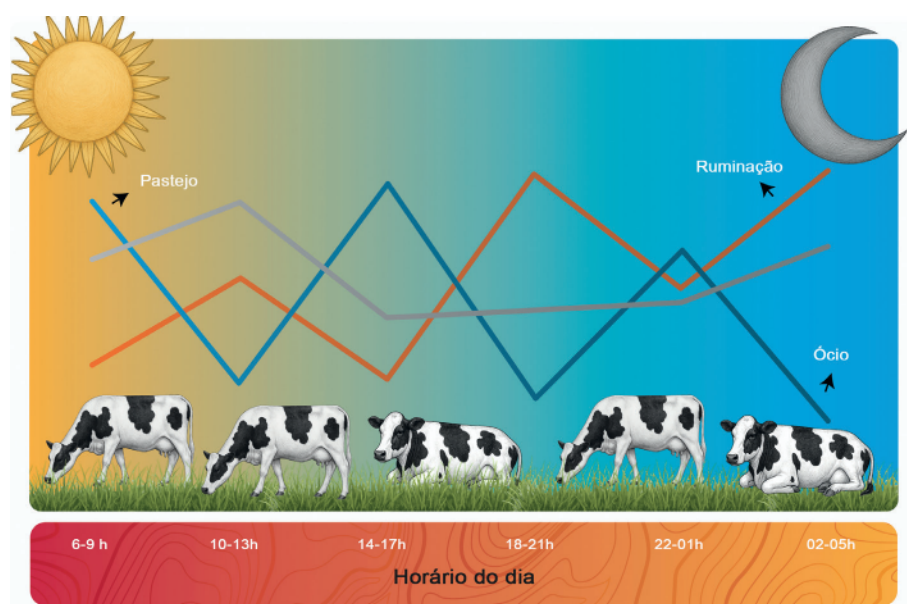
Com relação ao sistema imunológico dos bovinos, quando submetidos ao estresse calórico, esses animais apresentam aumento na produção de hormônios como o cortisol, os quais podem suprimir a resposta imune do organismo. Essa imunossupressão os torna mais suscetíveis a doenças e infecções, comprometendo sua saúde geral e bem-estar. Além disso, o estresse térmico pode afetar diretamente a função dos leucócitos, células essenciais para o sistema imunológico, reduzindo sua capacidade de combater patógenos e responder a agentes infecciosos (Inbaraj et al., 2016). Como consequência, esses animais tornam-se mais vulneráveis a doenças respiratórias, gastrointestinais e outras enfermidades, o que pode impactar negativamente a produtividade e a rentabilidade do sistema pecuário.

### **3.3 Comportamento de pastejo como indicador de estresse térmico**

Os padrões de comportamento em pastejo podem ser considerados indicadores de conforto térmico, uma vez que as respostas aos agentes estressores (Figura 3.2) manifestam-se por meio de adaptações comportamentais dos animais às variações da temperatura ambiental (Kerr, 2015; Polsky; Von Keyserlingk, 2017). Quando a temperatura ambiente se eleva, os animais podem manter a temperatura corporal central na zona termoneutra (Figuras 3.1 e 3.2) por meio de mecanismos termorregulatórios, como buscar abrigo na sombra, aumentar a ingestão de água, modificar a postura corporal (permanecer em pé ou deitado) e reduzir o consumo de alimentos (Krishnan et al., 2023).

Os bovinos em pastejo apresentam três principais comportamentos diários: pastejo, ruminação e ócio, que correspondem a aproximadamente 90% a 95% do tempo total de atividade dos animais (Kilgour, 2012). A atividade de

pastejo consiste no processo de alimentação a partir do consumo de capim em áreas de pastagem (Carvalho et al., 2015), envolvendo as etapas de busca, seleção, apreensão e ingestão do alimento (Andrigueto et al., 2006). De modo geral, os animais destinam de 6 a 12 horas diárias à atividade de pastejo (Yayota et al., 2017), a qual ocorre predominantemente entre o nascer e o pôr do sol, alternando-se com os períodos de ruminação e ócio (Figura 3.3) (Souza et al., 2019; Dias-Silva; Abdalla Filho, 2021; Omontese et al., 2022).



**Figura 3.3.** Variação das atividades de bovinos ao longo de 24 horas em pastagem de capim-xaraés.

Fonte: Adaptado de Zanini et al. (2007) e Souza et al. (2019).

A atividade de ruminação compreende os processos de regurgitação, remastigação, reinsalivação e redeglutição da ingesta ruminal (Beauchemin, 2018; Dias-Silva; Abdalla Filho, 2021). A regurgitação corresponde ao retorno do alimento do esôfago ou do estômago à boca, sem a ocorrência de náuseas ou contrações abdominais intensas; a remastigação refere-

se ao ato de mastigar novamente o alimento para reduzir ainda mais seu tamanho; a reinsalivação consiste na nova mistura do alimento com a saliva, fluido que contém enzimas digestivas essenciais ao processo digestório; e a redeglutição representa a repetição do ato de engolir, ou seja, o transporte do conteúdo (alimento, saliva ou ambos) da boca ao rúmen.

A ruminação tem duração média de 8 horas diárias, podendo variar entre 4 e 9 horas (Van Soest, 1994; Dias-Silva; Abdalla Filho, 2021), dependendo das características físicas e químicas da dieta. Por exemplo, uma dieta rica em fibra, que contém maior proporção de componentes da parede celular, como celulose, hemicelulose e lignina, promove um tempo de ruminação mais prolongado (Van Soest, 1994; Beauchemin, 2018). Em pastagens sem sombra, essa atividade ocorre predominantemente no período noturno (Figura 3.3), entre 18 e 21 horas e entre 2 e 5 horas, respectivamente (Damasceno et al., 1999; Souza et al., 2019), quando a temperatura do ar está mais baixa, favorecendo a manutenção da homeostase, dado que o processo de fermentação ruminal aumenta a produção de calor endógeno. Por essa razão, os animais reduzem essa atividade durante os períodos mais quentes do dia. Além disso, há uma tendência dos animais a realizarem essa atividade enquanto estão deitados (Souza et al., 2019; Volpi et al., 2021; Omontese et al., 2022).

O tempo dedicado à atividade de ócio corresponde ao período em que o animal não está pastejando, ruminando ou ingerindo água (Charlton et al., 2013), podendo variar entre 3 e 10 horas por dia (Kilgour et al., 2012). O tipo de dieta pode influenciar indiretamente o tempo que os animais passam em ócio. No caso de animais suplementados com dietas ricas em concentrados, caracterizadas por menor teor de fibra em detergente neutro, há uma redução no tempo de ruminação, resultando em maior tempo ocioso (Almeida et al., 2014). Além disso, diferentemente do tempo dedicado ao pastejo e à ruminação, o tempo ocioso dos bovinos não apresenta um padrão fixo, sendo essa atividade distribuída ao longo do dia em diferentes momentos (Figura 3.3) (Kilgour, 2012; Souza et al., 2019). Em ambientes com temperatura elevada, muitos animais preferem permanecer deitados, aumentando a área da superfície corporal em contato com o solo, facilitando a troca de calor por condução (Figura 3.3) e contribui para a regulação térmica. Ao se deitar, o

animal dissipa o calor excessivo para o ambiente, auxiliando na manutenção da homeostase.

Em síntese, os animais aumentam o tempo dedicado à atividade de ócio como estratégia para reduzir o calor metabólico gerado pelas atividades de pastejo e ruminação (Giro et al., 2019). Dessa maneira, em condições de estresse térmico, há uma diminuição no número de refeições, na duração de cada refeição e na taxa de consumo de matéria seca por refeição (Dias-Silva; Abdalla Filho, 2021). Além disso, em algumas situações, os animais passam a pastear no período noturno para compensar a redução da atividade de pastejo durante o dia, evitando, assim, a exposição às horas mais quentes (Kendall et al., 2006).

Além das atividades de pastejo, ruminação e ócio, que representam os comportamentos básicos dos ruminantes mantidos em pastagens (Dias-Silva; Abdalla Filho, 2021), a ingestão de água também é um comportamento biologicamente relevante, uma vez que esse recurso é essencial para os processos de digestão, absorção e transporte de nutrientes, além de desempenhar um papel fundamental na regulação da temperatura corporal (Williams et al., 2016; Williams et al., 2017; Wagner et al., 2021). O consumo de água é considerado um indicador de estresse térmico, pois esse comportamento está diretamente associado a fatores ambientais, como clima e estação do ano (Williams et al., 2016; Wagner; Engle, 2021). Em regiões de clima tropical, por exemplo, animais mantidos em pastejo sob exposição direta ao sol passam mais tempo envolvidos na atividade de ingestão de água ao longo do dia (Souza et al., 2019), devido à necessidade de reposição hídrica para compensar as perdas ocasionadas pela transpiração, aspecto essencial para a manutenção da homeostase (Atrian; Shahryar, 2012).

Em situações de estresse térmico, o tempo despendido na ingestão de água tende a aumentar, pois as perdas hídricas por evaporação tornam-se mais intensas. Estudos indicam que, para cada grau Celsius de aumento na temperatura do ar, há um acréscimo de 0,81 litros na ingestão de água por unidade animal, mecanismo que contribui para a troca de calor entre o animal e o ambiente por meio do resfriamento do retículo-rúmen (Bianca, 1964; Ali et al., 1994; Sousa et al., 2021). Além disso, verifica-se uma redução na frequência de defecação e micção, consequência da

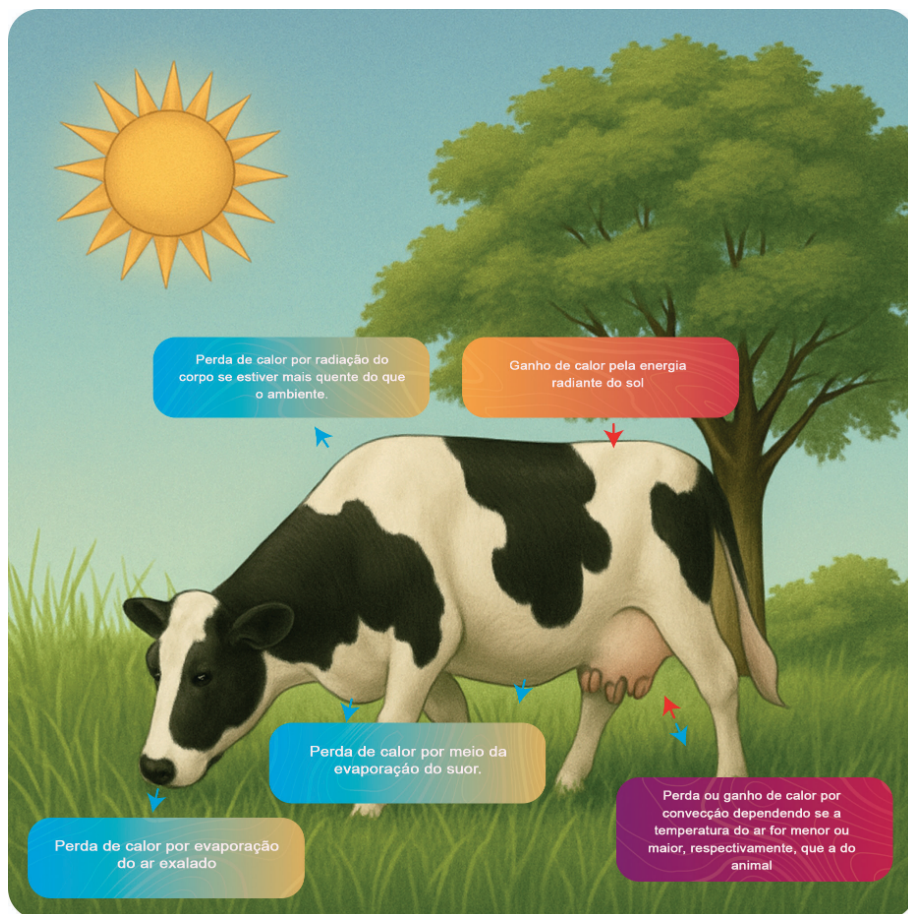
desidratação provocada pelos mecanismos evaporativos de resfriamento, como a respiração e a sudorese (Ratnakaran et al., 2017). Observa-se também que os bovinos tendem a permanecer ociosos próximos aos bebedouros, onde há formação de áreas lamacentas, optando por se deitar para dissipar o calor por condução, em vez de realizar a ingestão de água propriamente dita (Mello et al., 2017; Morenz et al., 2023).

### 3.4 Parâmetros fisiológicos como indicadores de estresse térmico

Além das mudanças nos padrões comportamentais de ruminantes sob estresse calórico, também ocorrem alterações fisiológicas (Chen et al., 2015; Sanin et al., 2016), que funcionam como mecanismos de termorregulação para a adaptação dos animais às variações nas condições climáticas (Costa et al., 2018; Rashamol et al., 2018; Gupta; Mondal, 2021). As respostas adaptativas baseiam-se em quatro mecanismos pelos quais o animal pode ganhar ou perder calor para o ambiente: radiação, condução, convecção e evaporação. Exemplos desses processos são ilustrados na Figura 3.4.

Em ambientes quentes, a evaporação representa o mecanismo mais eficiente para a dissipação do calor, porém sua eficácia diminui conforme a umidade relativa do ar se eleva (Kerr, 2015).

Do ponto de vista fisiológico, as adaptações no organismo do animal provocadas por variações térmicas ocorrem devido à atuação de receptores de temperatura localizados na pele, no cérebro e no núcleo corporal, que captam informações sobre as condições ambientais (Robertshaw, 2004; Krishnan et al., 2023). Esses receptores transmitem sinais ao hipotálamo, região do cérebro responsável por definir o ponto de ajuste da temperatura corporal normal. Um sistema de retroalimentação entre os receptores térmicos e o hipotálamo mantém a temperatura corporal por meio de respostas fisiológicas e comportamentais que aumentam ou reduzem a dissipação, ou a produção de calor (Figura 3.4). Por exemplo, quando os sinais recebidos indicam um aumento na temperatura ambiental, o hipotálamo ativa mecanismos de resfriamento do organismo, como a dilatação dos vasos sanguíneos (vasodilatação) e a sudorese (Robertshaw, 2004; Krishnan et al., 2023). Os animais podem promover a vasodilatação, especialmente nas extremidades,



**Figura 3.4.** Mecanismos de troca de calor entre mamíferos e seu ambiente por meio de radiação, condução, convecção ou evaporação.

Fonte: Adaptado de Kerr (2015).

e intensificar a dissipação térmica ao liberar vapor de água pelas passagens nasais (Figura 3.4), além de aumentar as taxas respiratórias (Robertshaw, 2004; Kerr, 2015; Krishnan et al., 2023).

A regulação da temperatura corporal ocorre por meio de reações químicas no organismo (Figura 3.2), sendo que o aumento da temperatura acelera essas reações, enquanto a redução da temperatura as desacelera. Além disso, as

respostas fisiológicas associadas ao estresse térmico ativam os sistemas endócrino, autônomo e nervoso central, além de promover a redistribuição do fluxo sanguíneo. Esses sistemas atuam de forma coordenada para minimizar os impactos do estresse e preservar a homeostase, estimulando mecanismos fisiológicos que reduzem os efeitos adversos. Os sistemas de controle do estresse variam entre indivíduos, dependendo do tempo de exposição, do status fisiológico, da predisposição genética, da extensão e da severidade do estresse (Krishnan et al., 2023).

Entre os parâmetros fisiológicos de termorregulação, destacam-se a frequência respiratória e a temperatura corporal (Santos et al., 2021). A respiração desempenha um papel fundamental na troca gasosa, permitindo a captação de oxigênio e a eliminação de dióxido de carbono. Durante esse processo, a umidade presente no trato respiratório é dissipada e evaporada, contribuindo para a manutenção do equilíbrio térmico (Wojtas et al., 2014; Rashamol et al., 2018). Assim, em condições de estresse térmico, os animais aumentam a taxa respiratória (respirações/min) como estratégia para dissipar o calor corporal por meio do mecanismo de evaporação (Kerr, 2015; Rashamol et al., 2018; Santos et al., 2021).

A classificação do estresse térmico com base na frequência respiratória, segundo Silanikove (2000), é a seguinte: baixo – 40 a 60 movimentos respiratórios por minuto; médio – 60 a 80; alto – 80 a 120; e severo – acima de 150 movimentos respiratórios por minuto. O aumento da frequência respiratória representa o primeiro sinal visível de estresse calórico nos animais (Renaudeau et al., 2012). Quando o animal não consegue dissipar o calor de maneira eficiente por esse ou por outros mecanismos evaporativos, ocorre um aumento da temperatura corporal interna (Santos et al., 2021).

A homeostase da temperatura corporal corresponde ao equilíbrio entre os processos de ganho e perda de calor (Berihulay et al., 2019). Esse parâmetro varia conforme a idade, a raça e o estado fisiológico do animal (Godyń et al., 2019; Yamada, 2020) e representa o indicador fisiológico mais amplamente utilizado em estudos de conforto térmico (Galán et al., 2018). A temperatura corporal pode ser aferida por diferentes métodos, como a medição da temperatura do rúmen, da temperatura timpânica ou, mais comumente, da temperatura retal ou vaginal (Burfeind et al., 2012; Godyń et al., 2019). Em bovinos, conforme mencionado anteriormente, a temperatura corporal

deve ser mantida entre 38,5°C e 39,5°C (Pires, 2006). Segundo Robertshaw (2004), a variação considerada normal para a temperatura retal é de 36,7°C a 39,1°C em bovinos de corte e de 38,0°C a 39,3°C em bovinos leiteiros. Além desses parâmetros, outros indicadores fisiológicos de estresse térmico em bovinos incluem a frequência cardíaca, a taxa de sudorese e a temperatura da superfície corporal. No entanto, esses indicadores são menos empregados em estudos de conforto térmico devido à ausência de valores de referência na literatura que permitam classificar com precisão os níveis de estresse térmico (Galán et al., 2018).

### 3.5 Indicadores climáticos de estresse térmico

Embora a temperatura do ar seja frequentemente considerada a variável climática isolada de maior relevância para a produção animal, seus efeitos estão diretamente associados ao nível de umidade atmosférica. A umidade relativa do ar corresponde, de forma simplificada, à quantidade de vapor d'água presente na atmosfera em relação ao total máximo que poderia existir na temperatura observada (Silva, 2000). Assim, a combinação de temperaturas elevadas com altos níveis de umidade relativa representa um dos principais fatores causadores de estresse calórico nos animais. Além disso, a interação desses elementos com a radiação solar e a velocidade do vento exerce impacto significativo sobre o organismo animal (Hill; Wall, 2015).

Em sistemas de criação a pasto, essa condição torna-se ainda mais desafiadora, pois os animais estão expostos diretamente às variações climáticas. Nesse contexto, são utilizados indicadores baseados em parâmetros ambientais, que auxiliam na definição de limites aceitáveis de estresse calórico para os animais no ambiente em que estão inseridos (Buffington et al., 1981). Dentre esses indicadores, destaca-se o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) (Hill; Wall, 2015) e o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), ambos amplamente empregados em estudos de conforto térmico (Galán et al., 2018).

O ITU, desenvolvido originalmente por Thom (1959) para mensuração do conforto térmico em seres humanos, foi posteriormente adaptado para aplicação em animais de produção (Polsky; Von Keyserlingk, 2017; Rensis et

al., 2015). Esse índice considera simultaneamente os efeitos da temperatura e da umidade relativa do ar, conforme apresentado na Equação 1. A literatura apresenta variações na classificação do estresse térmico com base nesse índice, em razão das diferenças entre os tipos de pesquisa e as condições ambientais avaliadas (Zimbelman et al., 2009). Entretanto, de acordo com Armstrong (1994), a classificação do conforto térmico de bovinos leiteiros com base nos valores de ITU é: normal – até 71; ameno – entre 72 e 78; brando – de 79 a 88; moderado – entre 89 e 98; e severo – acima de 98. A principal limitação desse índice é não considerar outros parâmetros climáticos essenciais para o conforto térmico de bovinos, como a radiação solar e a velocidade do vento (Polsky; Von Keyserlingk, 2017).

$$\text{ITU} = 0,8\text{tdb} + \text{UR} (\text{tdb} - 14,4) + 46,4 \quad \text{eq. [1]}$$

**Onde:**

ITU = Índice de Temperatura e Umidade;

tdb = Temperatura de bulbo seco (°C);

UR = Umidade Relativa do ar.

A aplicação do ITU estende-se tanto a pesquisas de campo quanto a sistemas produtivos tecnológicos. Nesse sentido, estudos indicam que novilhas Girolando mantidas em ambientes com ITU em torno de 82, condição correspondente a estresse térmico moderado, e pastejando capim-xaraés sob arborização com eucalipto (65% de sombreamento) apresentaram menores ( $P < 0,001$ ) valores de frequência respiratória ( $51,8 \times 57,9$  respirações/minuto) e de temperatura interna ( $39,41 \times 39,51^\circ\text{C}$ ) durante o período diurno (das 6:00h às 18:00h) em comparação com novilhas criadas em pastagens sem sombreamento (Carvalho, 2019).

O Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), desenvolvido por Buffington et al. (1981) para vacas leiteiras de alta produção, substitui a temperatura do bulbo seco pela temperatura do globo negro na equação do ITU (Equação 2). Além disso, esse índice considera a radiação líquida e a movimentação do ar, proporcionando uma avaliação mais precisa do ambiente térmico ao qual o animal está submetido, sobretudo em condições

de exposição direta à radiação solar (Buffington et al., 1981; Martello et al., 2004). Segundo a National Weather Service e Baêta (1985), a classificação do conforto térmico de bovinos com base nos valores de ITGU é a seguinte: normal – até 74; alerta – de 75 a 78; perigo – de 79 a 84; e emergência – acima de 84.

$$\text{ITGU} = T_{\text{gn}} + 0,36T_{\text{po}} + 41,5 \quad \text{eq. [2]}$$

**Onde:**

ITGU = Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade;

T<sub>gn</sub> = Temperatura de globo negro (°C);

T<sub>po</sub> = Temperatura do ponto de orvalho (°C).

A literatura evidencia uma forte correlação entre esses índices e os parâmetros fisiológicos de bovinos. Carvalho et al. (2018), por exemplo, observaram uma correlação significativa e positiva entre o ITU e a temperatura interna de vacas Girolando. Da mesma forma, Atkins et al. (2018) identificaram relações consistentes entre o ITU e variáveis fisiológicas, como a frequência respiratória e a temperatura corporal, em vacas da raça Holandesa em lactação. Yan et al. (2020) verificaram uma correlação positiva entre o ITGU e parâmetros como temperatura vaginal, frequência respiratória e temperatura da superfície corporal de vacas em lactação. Além disso, Daltro et al. (2017) constataram uma relação positiva entre o ITGU e as temperaturas corporais de vacas Holandesa e Girolando em lactação, avaliadas por meio de imagens termográficas da área ocular e da região do úbere.

Entretanto, uma limitação do uso desses índices na classificação do estresse térmico em animais zebuínos deve ser considerada, visto que a maior parte dos estudos foi conduzida em locais de clima temperado ou em câmaras climáticas utilizando animais taurinos, que apresentam maior sensibilidade às altas temperaturas (Domiciano et al., 2016). Assim, torna-se necessária a adequação da classificação do estresse térmico conforme a categoria animal, considerando particularidades como raça, idade, sexo, estágio da gestação e estágio da lactação (Buffington et al., 1981).

### 3.6 Estratégias de mitigação do estresse térmico

As mudanças climáticas, caracterizadas pelo aumento da temperatura ambiental, pela intensificação de ondas de calor e pela ocorrência de incêndios florestais, têm sido amplamente registradas. Estima-se que esses fenômenos se agravem futuramente, resultando na redução da precipitação e no aumento de até 2°C na temperatura média global até 2100, impactando diretamente os sistemas de produção agrícola e a criação de bovinos, além de gerar incertezas no sistema alimentar global (Wheeler; Von Braun, 2013; Malhi et al., 2021). No caso da região amazônica, o aquecimento pode atingir até 6°C até o final do século XXI, enquanto a precipitação pode apresentar uma redução de 15% a 20% (Marengo; Souza Júnior, 2018).

Nesse contexto, diversas estratégias vêm sendo adotadas para minimizar o estresse térmico em animais de produção, visto que tais medidas influenciam não apenas a resposta fisiológica dos animais ao calor, mas também a rentabilidade do sistema produtivo (Brown-Brandl, 2018). Entre essas estratégias, destacam-se os programas de melhoramento genético, com a seleção de bovinos portadores de genes associados à maior tolerância ao calor, além do cruzamento entre raças adaptadas ao clima tropical (zebuínas) e raças europeias de maior produtividade (Prado et al., 2012; McManus et al., 2014). Além disso, estratégias nutricionais vêm sendo implementadas visando manter o desempenho animal e reduzir o incremento calórico, por meio da adequação dos níveis de gordura, vitaminas, minerais e fibras na dieta (Wang et al., 2010; Min et al., 2019).

No caso de animais estabulados, o aumento da temperatura no interior das instalações decorre, principalmente, do dimensionamento inadequado das estruturas e não exclusivamente das condições climáticas adversas. Assim, o microclima interno dos galpões pode ser ajustado por meio da implementação de sistemas de condicionamento ambiental que, quando projetados corretamente, proporcionam um resfriamento eficiente. Além disso, modificações físicas no ambiente, como a disponibilização de sombras naturais e artificiais, são alternativas eficazes para reduzir a exposição dos animais à radiação solar direta e auxiliar na manutenção da homeostase (Palacio et al., 2015; Karvatte Junior et al., 2016; Salman et al., 2020).

A sombra é um fator essencial para o conforto térmico dos animais em climas quentes, podendo aumentar em até sete graus a carga térmica que o animal consegue tolerar em confinamento (Gaughan et al., 2008). Abrigos fechados não são necessariamente mais confortáveis do que áreas abertas sombreadas, especialmente quando não há ventilação adequada (Kerr, 2015). Geralmente, os animais apresentam maior bem-estar ao ar livre, sob árvores, em locais onde há circulação de ar. Dessa forma, o plantio de árvores para a oferta de sombra natural pode ser planejado como uma estratégia de longo prazo (Andrade et al., 2012). Além disso, o sombreamento natural tem se destacado em estudos sobre conforto térmico devido à crescente demanda por sistemas pecuários sustentáveis, que promovam benefícios ambientais, sociais e econômicos, além de atender às exigências regulatórias e possibilitar a diversificação das fontes de renda da propriedade (Andrade et al., 2012; Lima et al., 2018).

Souza et al. (2019), ao avaliarem novilhas Girolando em sistemas ILP e ILPF, observaram que os animais mantidos em áreas sombreadas apresentaram maior tempo de pastejo e menor tempo dedicado à ingestão de água. Mello et al. (2017) evidenciaram que, quando há disponibilidade de sombreamento, os animais demonstram preferência por essas áreas, reduzindo a frequência de idas ao bebedouro. Além disso, Deniz et al. (2020) ressaltaram que o sombreamento representa um fator determinante no comportamento de animais expostos ao calor, visto que esses acessam essa área sempre que disponível, sobretudo nos horários mais quentes do dia.

A arborização de pastagens desempenha um papel fundamental na pecuária, oferecendo múltiplos benefícios tanto para os animais quanto para o meio ambiente. As árvores fornecem sombra e abrigo, reduzindo o estresse térmico dos animais em períodos de calor intenso. Além disso, a presença de árvores contribui para a melhoria da qualidade do solo, promovendo a ciclagem de nutrientes e a retenção de água, resultando em pastagens mais produtivas (Andrade et al., 2012). A diversidade vegetal gerada pela arborização também pode ampliar a disponibilidade de forragem e estimular a biodiversidade local, favorecendo a presença de insetos polinizadores e outras formas de vida silvestre. Adicionalmente, a incorporação de árvores em pastagens pode atuar na mitigação dos impactos das mudanças climáticas, funcionando como sumidouros de carbono e auxiliando na redução da emissão de gases de efeito estufa.

Em regiões de clima tropical, garantir a adequada disponibilidade de água para o rebanho é fundamental. A oferta irrestrita de fontes de água fresca (ad libitum) para todos os animais é indispensável, uma vez que a perda de calor por evaporação demanda volumes significativos de água, além das necessidades básicas de manutenção. Animais desidratados apresentam dificuldades na regulação da temperatura corporal, comprometendo sua adaptação às condições ambientais (Silanikove, 2000). Em situações de estresse térmico, a demanda hídrica pode aumentar substancialmente, tornando necessária a ampliação dos pontos de acesso à água e/ou o ajuste das dimensões dos bebedouros, de modo a permitir que vários animais bebam simultaneamente.

### Considerações finais

O conforto térmico dos bovinos em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) desempenha um papel essencial na otimização da produtividade e no bem-estar animal. Em ambientes agroflorestais, a presença de árvores proporciona sombra natural, reduzindo a exposição dos animais à radiação solar direta e mitigando o estresse térmico, sobretudo em regiões de clima quente. A manutenção de uma temperatura corporal adequada é crucial para que os bovinos realizem suas funções fisiológicas de maneira eficiente, incluindo a digestão e a produção de leite e carne. Dessa forma, garantir o conforto térmico em sistemas ILPF contribui para a sustentabilidade do manejo agropecuário, promovendo a saúde animal e a produtividade agrícola de forma integrada e equilibrada com o meio ambiente.

## Referências

- AHMED, A.; TIWARI, R. P.; MISHRA, G. K.; JENA, B.; DAR, M.A.; BHAT, A. A. Effect of Environmental Heat Stress on Reproduction Performance of Dairy Cows – A Review. **International Journal of Livestock Research**, v. 5, n. 4, p. 10-18, 2015.
- AL AMRI, I.; AL AJMIB, D. S.; ALKINDIA, A.; SAWADC, A. A.; HAMAEDA, A.; NASSER, A. Impacts of seasonal ambient temperature and humidity on meat quality characteristics of sheep and beef longissimus thoracis muscles. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 33, n. 5, p. 362-369, 2021.
- ALI, S.; GOONEWARDENE, L. A.; BASARAB, J. A. Estimating water consumption and factors affecting intake in grazing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 74, n. 3, p. 551-554, 1994.
- ALMEIDA, V. V. S. D.; SILVA, R. R.; VISINTIN, A. C. O.; QUEIROZ, A. C. D.; SILVA, F. F. D.; SAMPAIO, C. B.; LISBOA, M. M.; MENDES, F. B. L.; LINS, T. O. J. D. A. Ingestive behavior of grazing heifers receiving crude glycerin supplementation during the dry-rainy season transition. **Chilean journal of agricultural research**, v. 74, n. 3, p. 286-292, 2014.
- ANDRADE, C. M. S.; SALMAN, A. K. D.; OLIVEIRA, T. K. (ed.). **Guia Arbopasto: Manual de Identificação e Seleção de Espécies Arbóreas para Sistemas Silvopastoris** Brasília, DF: Embrapa, 2012. 345 p.
- ANDRIGUETO, J. M.; PERLY, L.; MINARDI, I.; GEMAEL, A.; FLEMMING, J. S.; SOUZA, G. A.; BONA-FILHO, A. **Nutrição animal: as bases e os fundamentos da nutrição animal**. - Os alimentos. São Paulo: Editora Nobel, 2006.
- APARECIDO, L. E. D. O.; LORENÇONE, J. A.; LORENÇONE, P. A.; TORSONI, G. B.; MORAES, J. R. D. S. C.; MENESES, K. C. Bioclimatic zoning for dairy cows in Brazil by statistical modeling. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 9, p. 3847-3857, 2022.
- ARMSTRONG, D. V. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of dairy science**, v. 77, n. 7, p. 2044-2050, 1994.
- ARFUSO, F.; RIZZO, M.; GIANNETTO, C.; GIUDICE, E.; FAZIO, F.; PICCIONE, G. Age-related changes of serum mitochondrial uncoupling 1, rumen and rectal temperature in goats. **Journal of Thermal Biology**, v. 59, p. 47-51, 2016.
- ATKINS, I. K.; COOK, N. B.; MONDACA, M. R.; CHOI, C. Y. Continuous respiration rate measurement of heat-stressed dairy cows and relation to environment, body temperature, and lying time. *Transactions of the ASABE*, v. 61, n. 5, p. 1475-1485, 2018.
- ATRIAN, P.; SHAHRYAR, H. A. Heat stress in dairy cows (a review). **Research in Zoology**, v. 2, n. 4, p. 31-37, 2012.

BAÊTA, F. C. **Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season.** 1985. 218f. Tese (Doutorado) - State University of Missouri Missouri, Columbia, EUA.

BAÊTA, F. C.; SOUZA C. F. **Ambiência em Edificações Rurais:** Conforto animal. Viçosa: Editora UFV, 2010.

BARBOSA, B. R. P.; SANTOS, S. A.; ABREU, U. G. P. D.; EGITO, A. A.; COMASTRI FILHO, J. A.; JULIANO, R. S.; PAIVA, S. R.; McMANUS, C. Tolerância ao calor em bovinos das raças Nelore branco, Nelore vermelho e Pantaneira. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, n. 4, v. 15, p. 854-865, 2014.

BEAUCHEMIN, K. A. Invited review: Current perspectives on eating and rumination activity in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 6, p. 4762-4784, 2018.

BERIHULAY, H.; ABIED, A.; HE, X.; JIANG, L.; MA, Y. Adaptation mechanisms of small ruminants to environmental heat stress. **Animals**, v. 9, n. 3, p. 75, 2019.

BERNABUCCI, U.; BASIRICÒ, L.; MORERA, P.; DIPASQUALE, D.; VITALI, A.; CAPPELLI, F. P.; CALAMARI, L. U. I. G. I. Effect of summer season on milk protein fractions in Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 3, p. 1815-1827, 2015.

BIANCA, W. Thermoregulatory responses of the dehydrated ox to drinking cold and warm water in a warm environment. **Research in Veterinary Science**, v. 5, p. 75-80, 1964.

BIANCHINI, E.; McMANUS, C.; LUCCI, C. M.; FERNANDES, M. C. B.; PRESCOTT, E.; MARIANTE, A. D. S.; EGITO, A. A. D. Características corporais associadas com a adaptação ao calor em bovinos naturalizados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 9, p. 1443-1448, 2006.

BURFEIND, O.; SUTHAR, V. S.; HEUWIESER, W. Effect of heat stress on body temperature in healthy early postpartum dairy cows. **Theriogenology**, v. 78, n. 9, p. 2031-2038, 2012.

BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black-globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of ASA**, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981.

BROWN-BRANDL, T. M. Understanding heat stress in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, 2018.

CARVALHO, G. A.; SALMAN, A. K. D.; CRUZ, P. G.; SILVA, F. R. F.; HALFEN, J. SCHMITT, E. Relationship between thermal comfort indices and internal temperature of grazing lactating Holstein × Gyr cows in western Amazonia. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 3, p. 191-196, 2018.

CHARLTON, G. L.; RUTTER, S. M.; EAST, M.; SINCLAIR, L. A. The motivation of dairy cows for access to pasture. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 7, p. 4387-4396, 2013.

CHEN, Y.; ARSENAULT, R.; NAPPER, S.; GRIEBEL, P. Models and Methods to Investigate Acute Stress Responses in Cattle. **Animais**, v. 5, n. 4, p. 1268-1295, 2015.

COSTA, C. C. M.; MAIA, A. S. C.; NASCIMENTO, S. T.; NASCIMENTO, C. C. N.; CHIQUITELLI NETO, M.; FONSECA, V. F. C. Thermal balance of Nellore cattle. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, p. 723-731, 2018.

COWLEY, F. C.; BARBER, D. G.; HOULIHAN, A. V.; POPPI, D. P. Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 4, p. 2356-2368, 2015.

DALTRO, D. D. S.; FISCHER, V.; ALFONZO, E. P. M.; DALCIN, V. C.; STUMPF, M. T.; KOLLING, G. J.; SILVA, M. V. G. B.; McMANUS, C. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 5, p. 374-383, 2017.

DAMASCENO, J. C.; BACCARI JUNIOR, F.; TARGA, L. A. Respostas comportamentais de vacas holandesas com acesso a sombra constante ou limitada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 709-715, 1999.

DASH, S.; CHAKRAVARTY, A. K.; SINGH, A.; UPADHYAY, A.; SINGH, M.; YOUSUF, S. Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review. **Vet World**, v. 9, n. 3, p. 235-244, 2016.

DENIZ, M.; SCHMITT FILHO, A. L.; HÖTZEL, M. J.; SOUSA, K. T. de; MACHADO FILHO, L. C. P.; SINISGALLI, P. A. Microclimate and pasture area preferences by dairy cows under high biodiversity silvopastoral system in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, p. 1877-1887, 2020.

DIAS-SILVA, T. P.; ABDALLA FILHO, A. L. Sheep and goat feeding behavior profile in grazing systems. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 43, p. e51265, 2021.

DOMICIANO, L. F.; MOMBACH, M. A.; CARVALHO, P.; SILVA, N. M. F. da; PEREIRA, D. H.; CABRAL, L. S.; LOPES, L. B.; PEDREIRA, B. C. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Animal Production Science**, v. 58, n. 5, p. 920-929, 2016.

FUQUAY, J. W. Heat stress as it affects animal production. **Journal of Animal Science**, v. 52, n. 1, p. 164-182, 1981.

GALÁN, E.; LLONCH, P.; VILLAGRÁ, A.; LEVIT, H.; PINTO, S.; DEL PRADO, A. A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. **PloS one**, v. 13, n. 11, p. 1-19, 2018.

GAUGHAN, J.; MADER, T.; HOLT, S.; LISLE, A. A New Heat Load Index for Feedlot Cattle. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 1, p. 226-234, 2008.

GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; HOLT, S. M.; SULLIVAN, M. L.; HAHN, G. L. Assessing the heat tolerance of 17 beef cattle genotypes. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 6, p. 617-627, 2010.

GERNAND, E.; KÖNIG, S.; KIPP, C. Influence of on-farm measurements for heat stress indicators on dairy cow productivity, female fertility, and health. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 7, p. 6660-6671, 2019.

GIRO, A.; PEZZOPANE, J. R. M.; JUNIOR, W. B.; PEDROSO, A de F.; LEMES, A. P.; BOTTA, D. ROMANELLO, N.; BARRETO, A. N.; GARCIA, A. R. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. **Science of the Total Environment**, v. 684, p. 587-596, 2019.

GODYŃ, D.; HERBUT, P.; ANGREGKA, S. Measurements of peripheral and deep body temperature in cattle—A review. **Journal of Thermal Biology**, v. 79, p. 42-49, 2019.

GUPTA, M.; MONDAL, T. Heat stress and thermoregulatory responses of goats: a review. **Biological Rhythm Research**, v. 52, n. 3, p. 407-433, 2021.

HANSEN, P. J. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Animal reproduction science**, v. 82, p. 349-360, 2004.

HERBUT, P.; ANGREGKA, S.; WALCZAK, J. Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle – a review. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 12, p. 2089-2097, 2018.

HILL, D. L.; WALL, E. Dairy cattle in a temperate climate: the effects of weather on milk yield and composition depend on management. **Animal**, v. 9, n. 1, p. 138-149, 2015.

INBARAJ, S.; SEJIAN, V.; BAGATH, M.; BHATTA, R. Impact of Heat Stress on Immune Responses of Livestock: A Review. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 39, n. 4, 2016.

JIAN, W.; DUANGJINDA, M.; VAJRABUKKA, C.; KATAWATIN, S. Differences of skin morphology in *Bos indicus*, *Bos taurus*, and their crossbreds. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, p. 1087-1094, 2014.

KADIM, I. T.; MAHGOUB, O.; AL-AJMI, D. S.; AL-MAQBALY, R. S.; AL-MUGHEIRY, S. M.; BARTOLOME, D. Y. The influence of season on quality characteristics of hot-boned beef m. longissimus thoracis. **Meat Science**, v. 66, n. 4, p. 831-836, 2004.

KARTHICKEYAN, S. M. K.; KUMARASAMY, P.; SIVASELVAM, S. N.; SARAVANAN, R.; THANGARAJU, P. Analysis of microsatellite markers in Ongole breed of cattle. **Indian Journal Biotechnology**, v. 7, p. 113-116, 2008.

KARVATTE JUNIOR, N.; KLOSOWSKI, E. S.; ALMEIDA, R. G. de; MESQUITA, E. E.; OLIVEIRA, C. C. de; ALVES, F. V. Shading effect on microclimate and thermal

comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, p. 1933-1941, 2016.

KENDALL, P. E.; NIELSEN, P. P.; WEBSTER, J. R.; VERKERK, G. A.; LITTLEJOHN, R. P.; MATTHEWS, L. R. The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. **Livestock Science**, v. 103, n. 1-2, p. 148-157, 2006.

KERR, S. R. **Livestock Heat Stress**: Recognition, Response, and Prevention. Fact sheet 157E. Washington State University Extension, 2015. 10 p.

KILGOUR, R. J. In pursuit of "normal": A review of the behaviour of cattle at pasture. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 138, p. 1-11, 2012.

KRISHNAN, G.; SILPA, M. V.; SEJIAN, V. Environmental Physiology and Thermoregulation in Farm Animals. In: DAS, P. K.; SEJIAN, V.; MUKHERJEE, J.; BANERJEE, D. (ed.). **Veterinary Physiology**. Singapore: Springer, 2023, p. 723-749.

LEES, A. M.; SEJIAN, V.; WALLAGE, A. L.; STEEL, C. C.; MADER, T. L.; LEES, J. C.; GAUGHAN, J. B. The Impact of Heat Load on Cattle. **Animals**, v. 9, n. 6, p. 322, 2019.

LIMA, M. A.; PACIULLO, D. S. C.; MORENZ, M. J. F.; GOMIDE, C. A. M.; RODRIGUES, R. A. R.; CHIZZOTTI, F. H. M. Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a longterm silvopastoral system. **Grass And Forage Science**, v.74, p.160-170, 2018.

MALHI, G. S.; KAUR, M.; KAUSHIK, P. Prashant. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1318, 2021.

MARCHESINI, G.; CORTESE, M.; MOTTARAN, D.; RICCI, R.; SERVA, L.; CONTIERO, B.; SEGATO S.; ANDRIGHETTO, I. Effects of axial and ceiling fans on environmental conditions, performance and rumination in beef cattle during the early fattening period. **Livestock Science**, v. 214, p. 225-230, 2018.

MARENGO, J. A.; SOUZA JÚNIOR, C. **Mudanças Climáticas**: impactos e cenários para a Amazônia. São Paulo: ALANA, 2018.

MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; PINHEIRO, M. D. G.; SILVA, S. D. L.; ROMA JÚNIOR, L. C. Avaliação do microclima de instalações para gado de leite com diferentes recursos de climatização. **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 263-273, 2004.

McMANUS, C. M.; LOUVANDINI, H.; PAIM, T. P.; SILVA, F. C. P.; BERNAL, F. E. M. Factors affecting heat tolerance in crossbred cattle in central Brazil. **Ciência Animal Brasileira**, v. 15, p. 152-158, 2014.

MELLO, A. C. T. D.; CARNEVALLI, R. A.; SHIRATSUCHI, L. S.; LOPES, L. B.; XAVIER, D. B. Improved grazing activity of dairy heifers in shaded tropical grasslands. **Ciência Rural**, v. 47, 2017.

MIN, L.; LI, D.; TONG, X.; NAN, X.; DING, D.; XU, B.; WANG, G. Nutritional strategies for alleviating the detrimental effects of heat stress in dairy cows: a review. **Jornal Internacional de Biometeorologia**, v. 63, p. 1283-1302, 2019.

MORENZ, A. B. S.; CARVALHO, C. A. B. de; CARNEVALLI, R. A.; MORENZ, D. A.; BARROS, I. de; LULU, J.; MOUSTACAS, V. S.; XAVIER, D. B. Dairy cows on integrated livestock-forestry system in the tropics. **Agroforestry Systems**, p. 1-12, 2023.

NASCIMENTO, M. R. B. D. M.; DIAS, E. A.; SANTOS, T. R. D.; AYRES, G. F.; NASCIMENTO, C. C. N.; BELETTI, M. E. Effects of age on histological parameters of the sweat glands of Nelore cattle. **Revista Ceres**, v. 62, p. 129-132, 2015.

OMONTESE, B.; ZAKARI, F.; WEBB, M. Rumination and Activity Patterns in Angus and Angus-Cross Beef Calves: Influences of Sex, Breed, and Backgrounding Diet. **Animals**, v. 12, n. 14, p. 1835, 2022.

PALACIO, S.; BERGERON, R.; LACHANCE, S.; VASSEUR, E. The effects of providing portable shade at pasture on dairy cow behavior and physiology. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 9, p. 6085-6093, 2015.

PIRES, M. D. F. A. **Manejo nutricional para evitar o estresse calórico**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2006. 4 p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado técnico 52).

POLSKY, L.; VON KEYSERLINGK, M. A. G. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 11, p. 8645-8657, 2017.

PRADO, I. N.; MAGGIONI, D.; SANTOS ABRAHÃO, J. J. dos; VALERO, M. V.; PRADO, R. M. do; SOUZA, N. E. de. Meat quality of crossbred bulls fed with sorghum silage or sugar cane and slaughtered at two levels of fat thickness. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, n. 3, p. 337-344, 2012.

RASHAMOL, V. P.; SEJIAN, V.; BAGATH, M.; KRISHNAN, G.; ARCHANA, P. R.; BHATTA, R. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 6, n. 3, p. 62-71, 2018.

RATNAKARAN, A. P.; SEJIAN, V.; JOSE, V. S.; VASWANI, S.; BAGATH, M.; KRISHNAN, G.; BEENA, V.; DEVI, P. I.; VARMA, G.; BHATTA, R. Behavioral responses to livestock adaptation to heat stress challenges. **Asian Journal of Animal Sciences**, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2017.

RENAUDEAU, D.; COLLIN, A.; YAHAV, S.; BASILIO, V. de; GOURDINE, J. L.; COLLIER, R. J. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, v. 6, n. 5, p. 707-728, 2012.

RENSIS, F. de; GARCIA-ISPIERTO, I.; LÓPEZ-GATIUS, F. Seasonal heat stress: Clinical implications and hormone treatments for the fertility of dairy cows. **Theriogenology**, v. 84, n. 5, p. 659-666, 2015.

ROBERTSHAW, D. Temperature Regulation in the Thermal Environment. In: REECE, W. O. (ed.). **Dukes' physiology of domestic animals**. Ithaca and London: Comstock Publishing Associates, Cornell University Press 2004. p. 962-973.

SALMAN, A. K. D.; MATARAZZO, S.V.; ARCARO JÚNIOR, I.; MELLO, D. S. Ambiência nas instalações para produção de leite. In: SALMAN, A. K. D.; PFEIFER, L. F. (Org.). **Pecuária Leiteira na Amazônia**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2020. 399 p.

SANIN, Y. L.; CABRERA, A. M. Z.; MORALES, A. M. T. Adaptive Responses to Thermal Stress in Mammals. **Revista de Medicina Veterinária**, n. 31, p. 121-135, 2016.

SANTOS, M. M.; SOUZA-JUNIOR, J. B. F.; DANTAS, M. R. T.; DE MACEDO COSTA, L. L. An updated review on cattle thermoregulation: physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 24, p. 30471-30485, 2021.

SCAHAW. **The welfare of cattle kept for beef production**. 2001. SANCO.C.2/AH/R22/2000. Disponível em: <https://orprints.org/id/eprint/742/>. Acesso em: 06 mar. 2025.

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

SILVA, R.G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

SINGH, S.P.; KUMAR, A.; SOURYA, N. Effects of heat stress on animal reproduction. **International Journal of Fauna and Biological Studies**, v. 8, p. 16-20, 2021.

SLIMEN, I. B.; NAJAR, T.; GHAM, A.; ABDERRABBA, M. Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects, a review. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 100, n. 3, p. 401-412, 2016.

SOUZA, E. C.; SALMAN, A. K. D.; CRUZ, P. G.; VEIT, H. M.; CARVALHO, G. A.; SILVA, F. R. F.; SCHMITT, E. Thermal comfort and grazing behavior of Girolando heifers in integrated crop-livestock (ICL) and crop-livestock-forest (ICLF) systems. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 41, p. 46483, 2019.

SOUSA, K. T. de; DENIZ, M.; VALE, M. M.; DITTRICH, J. R.; HÖTZEL, M. J. Influence of microclimate on dairy cows' behavior in three pasture systems during the winter in south Brazil. **Journal of Thermal Biology**, v. 97, n. 3, p. 102873, 2021.

SUMMER, A.; LORA, I.; FORMAGGIONI, P.; GOTTARDO, F. Impact of heat stress on milk and meat production. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 39-46, 2019.

TAO, S.; RIVAS, R. M. O.; MARINS, T. N.; CHEN, Y. C.; GAO, J.; BERNARD, J. K. Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. **Theriogenology**, v. 150, p. 437-444, 2020.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57-69, 1959.

TRIGO, B. B.; UTSUNOMIYA, A. T. H.; FORTUNATO, A. A. A. D.; MILANESI, M.; TORRECILHA, R. B. P.; LAMB, H.; NGUYEN, L.; ROSS, E. M.; HAYES, B.; PADULA, R. C. M.; SUSSAI, T. S.; ZAVAREZ, L. B.; CIPRIANO, R. S.; CAMINHAS, M. M. T.; LOPES, F. L.; PELLE, C.; LEEB, T.; BANNASCH, D.; BICKHART, D.; SMITH, T. P. L.; SONSTEGARD, T. S.; GARCIA, J. F.; UTSUNOMIYA, Y. T. Variants at the ASIP locus contribute to coat color darkening in Nellore cattle. **Genetics Selection Evolution**, v. 53, n. 40, 2021.

VAN SOEST P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**, 2nd. Ithaca, NY, USA: Comstock Publishing, 1994. 476p.

VAN WETTERE, W. E. J.; KIND, K. L.; GATFORD, K. L.; SWINBOURNE, A. M.; LEU, S. T.; HAYMAN, P. T.; KELLY, J. M.; WEAVER, A. C.; KLEEMANN, D. O.; WALKER, S. W. Review of the impact of heat stress on reproductive performance of sheep. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 12, p. 1-18, 2021.

VOLPI, D.; ALVES, F. V.; DA SILVA ARGUELHO, A.; VALE, M. M. do; DENIZ, M.; ZOPOLLATTO, M. Environmental variables responsible for Zebu cattle thermal comfort acquisition. **International Journal of Biometeorology**, v. 65, p. 1695-1705, 2021.

WAGNER, J. J.; ENGLE, T. E. Invited Review: Water consumption, and drinking behavior of beef cattle, and effects of water quality. **Applied Animal Science**, v. 37, p. 418-435, 2021.

WANG, J. P.; BU, D. P.; WANG, J. Q.; HUO, X. K.; GUO, T. J.; WEI, H. Y.; LI, F. D. Effect of saturated fatty acid supplementation on production and metabolism indices in heat-stressed mid lactation dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 93, p. 4121-4127. 2010.

WEGLARZ, A. Meat quality defined based on pH and colour depending on cattle category and slaughter season. **Czech Journal of Animal Science**, v. 55, p. 548-556, 2010.

WHEELER, T.; VON BRAUN, J. Climate Change Impacts on Global Food Security. **Science**, v. 341, n. 6145, p. 508-513, 2013.

WILLIAMS, L. R.; JACKSON, E. L.; BISHOPHURLEY, G. J.; SWAIN, D. L. Drinking frequency effects on the performance of cattle: a systematic review. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 101, n. 6, p. 1076-1092, 2016.

YAMADA, K. L. G. **Sistemas de duchas, aspersores e sombrites destinados a promoção da redução do estresse térmico em vacas leiteiras a pasto e sua influência sobre parâmetros produtivos, fisiológicos e reprodutivos**. 2020, 130 f. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

YAN, G.; LI, H.; ZHAO, W.; SHI, Z. Evaluation of thermal indices based on their relationships with some physiological responses of housed lactating cows under heat stress. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, p. 2077-2091, 2020.

YAYOTA, M.; DOI K.; KAWAMURA K.; OGURA S. Monitoring Foraging Behavior in Ruminants in a Diverse Pasture. **Journal of Integrated Field Science**, v. 14, p. 39-47, 2017.

YOULSEF, M.K. **Stress physiology in livestock**. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1985. 217 p.

ZANINI, A. M.; VIEIRA, B. R.; FERREIRA, D. J.; VIEIRA, A. J. M.; CECON, P. R. Comportamento ingestivo de bovinos de diferentes categorias em pastagem de capim coast-cross. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 111-119, 2007.

ZIMBELMAN, R. B.; RHOADS, R. P.; RHOADS, M. L.; DUFF, G. C.; BAUMGARD, L. H.; COLLIER, R. J. A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. In: SOUTHWEST NUTRITION CONFERENCE. 24, 2009, Tucson, AZ. **Proceedings** [...]. Tucson, AZ:USDA, 2009. p. 158-169.