

Índices de estresse e conforto térmico associados aos parâmetros fisiológicos e perfil energético em vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical

Stress and thermal comfort indexes associated with physiological parameters and energy status in Girolando cows raised on pasture in the tropical savannah

Índices de estrés y confort térmico asociados a parámetros fisiológicos y perfil energético en las vacas Girolando criadas en pastos de la sabana tropical

Recebido: 15/04/2020 | Revisado: 24/04/2020 | Aceito: 28/04/2020 | Publicado: 28/04/2020

Thiago Nogueira Marins

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3609-4745>

Department of Animal and Dairy Science, University of Georgia, EUA

E-mail: tng@uga.edu

Ítalo Garcia Borges de Almeida

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1385-5801>

Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: Italovet61@gmail.com

Bárbara Vinhal Lôbo

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0726-6373>

Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: barbara.vinhal@hotmail.com

Caíque Michel Barbosa Pessoa

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5343-4799>

Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: caíque_michel@hotmail.com

Rafaela Cavalcanti Teixeira

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0422-0356>

Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: rafaela.cavalcanti@msn.com

Benner Geraldo Alves

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9465-8054>

Unidade Acadêmica Especial de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Jataí, Brasil

E-mail: bennervet@gmail.com

Maria Lucia Gambarini

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0517-7270>

Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: marialucia@ufg.br

Resumo

Esse estudo observacional longitudinal foi desenvolvido com o objetivo de descrever índices de estresse térmico, a resposta fisiológica e o perfil energético em vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical durante os períodos de transição e espera voluntário. Foram avaliadas 20 vacas da raça Girolando. O índice de temperatura e umidade (ITU) e o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) foram mensurados diariamente e as vacas avaliadas e submetidas à colheita de sangue em intervalos de tempo distribuídos entre as três semanas antes do parto até o 60^o dia pós-parto. A Temperatura Retal, Frequência Cardíaca e Frequência Respiratória (TR, FC e FR) eram aferidas pela manhã (6:00–8:00 horas) e a tarde (14:00–16:00 horas). A TR e FR foram utilizadas para cálculo do Índice de Conforto de Benezra (ICB) e a FR para o cálculo do Índice de Tolerância ao Calor Ibéria (ITCI). O perfil energético foi avaliado pelas concentrações de glicose, ácidos graxos não esterificados (AGNEs), beta-hidroxibutirato (β HB), triglicerídeos, colesterol e HDL. No período de 8:00 as 16:00 horas os valores médios de ITU variaram de 73,5 a 78,7 e de ITGU de 81,8 a 88,2, caracterizando exposição à condição de estresse térmico. As variáveis FC, FR e TR diferiram entre manhã e tarde ($p < 0,05$), assim como o ICB e o ITCI ($p < 0,01$). As concentrações médias de glicose foram semelhantes no pré-parto, com queda no dia do parto, atingindo a menor concentração no 5^o dia pós-parto. Para AGNEs o maior valor foi verificado no dia do parto, com posterior decréscimo ($p < 0,05$); o β HB decresceu até a semana anterior ao parto e aumentou tanto no dia do parto quanto após ($p > 0,05$). A partir do dia do parto, a concentração de triglicerídeos decresceu ($p < 0,05$), mas as de colesterol e HDL aumentaram ($p < 0,05$). Quanto às variáveis reprodutivas o período parto-primeiro serviço foi influenciado pelo ITU e ITGU na época de ocorrência do primeiro serviço, assim como pelo ICB e ITCI. Os índices ambientais indicaram que as vacas Girolando sofreram estresse térmico durante o período da tarde, mas isso não influenciou o perfil energético durante os períodos de transição e espera voluntário, o qual permaneceu dentro do esperado para o estado metabólico nessa fase produtiva da vaca leiteira. As correlações entre os índices de conforto (ICB) e tolerância ao calor (ITCI) com a frequência respiratória e a temperatura retal indicam que devem ser

utilizados para avaliar o conforto térmico de vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical.

Palavras-chave: Tolerância ao calor; Medicina de produção; Metabolismo energético.

Abstract

This longitudinal observational study was developed to describe thermal stress indexes, the physiological response, and the energy status in Girolando cows raised on pasture in the tropical savannah during the transition and voluntary waiting periods. Twenty Girolando cows were evaluated. The temperature and humidity index (UTI) and the globe temperature and humidity index (ITGU) were measured daily, and cows were assessed and submitted to blood collection at time intervals distributed among the three weeks before calving until the 60th day postpartum. Rectal Temperature, Heart Rate, and Respiratory Rate (TR, FC, and FR) were measured in the morning (6:00 - 8:00 hours) and the afternoon (14:00 - 16:00 hours). TR and FR were used to calculate the Benezra Comfort Index (ICB) and FR to calculate the Iberian Heat Tolerance Index (ITCI). The energy status was evaluated by the levels of glucose, non-esterified fatty acids (AGNEs), beta-hydroxybutyrate (β HB), triglycerides, cholesterol, and HDL. In the period of 8:00 to 16:00 hours, the mean values of ITU ranged from 73.5 to 78.7 and of ITGU from 81.8 to 88.2, characterizing exposure to thermal stress condition. The variables FC, FR, and TR, differed between morning and afternoon ($p < 0,05$), as well as the ICB and ITCI ($P < 0,01$). Mean glucose levels were similar in prepartum, with a drop on the day of calving, reaching the lowest level on the 5th day postpartum. For AGNEs, the highest value was found on the day of calving, with a subsequent decrease ($p < 0,05$); β HB decreased until the week before calving and increased both on the day of calving and after ($p > 0,05$). From the day of calving, triglyceride levels decreased ($p < 0,05$), but cholesterol and HDL increased ($p < 0,05$). As for the reproductive variables, the first service was influenced by the ITU and ITGU at the time of the first service, as well as by the ICB and ITCI. The environmental indexes indicated that Girolando cows suffered thermal stress during the afternoon period, but this did not influence the energy status during the transition and voluntary waiting periods, which remained within the expected metabolic status in this productive phase of the dairy cow. Correlations between comfort index (ICB) and heat tolerance (ITCI) with respiratory rate and rectal temperature indicate that they should be used to assess the thermal comfort of Girolando cows raised on pasture in the tropical savannah.

Keywords: Heat stress; Production medicine; Energy metabolism.

Resumen

Este estudio observacional longitudinal se desarrolló para describir los índices de estrés térmico, la respuesta fisiológica y el perfil energético en las vacas Girolando criadas en pastos de la sabana tropical durante los períodos de transición y de espera voluntaria. Veinte vacas Girolando fueron evaluadas. Se miden diariamente el índice de temperatura y humedad (ITU) y el índice de temperatura y humedad del globo (ITGU) y se evaluaron las vacas, que fueron sometidas a una extracción de sangre en intervalos de tiempo distribuidos entre las tres semanas anteriores al parto hasta el 60° día del posparto. La temperatura rectal, el ritmo cardíaco y el ritmo respiratorio (TR, FC y FR) se midieron por la mañana (6:00 - 8:00 horas) y por la tarde (14:00 - 16:00 horas). TR y FR se usaron para calcular el Índice de Confort de Benezra (ICB) y FR para calcular el Índice de Tolerancia al Calor Ibérica (ITCI). El perfil energético fue evaluado por las concentraciones de glucosa, ácidos grasos no esterificados (AGNEs), beta-hidroxibutirato (β HB), triglicéridos, colesterol y HDL. En el período de 8:00 a 16:00 horas, los valores medios de la ITU oscilaron entre 73,5 y 78,7 y de la ITGU entre 81,8 y 88,2, caracterizando la exposición a la condición de estrés térmico. Las variables FC, FR y TR difirieron entre la mañana y la tarde ($p < 0,05$), así como el ICB y el ITCI ($P < 0,01$). Las concentraciones medias de glucosa fueron similares en el pre-parto, con un descenso en el día del parto, alcanzando la concentración más baja en el 5° día post-parto. En el caso de los AGNE el valor más alto se encontró el día del parto, con una disminución posterior ($p < 0,05$); β HB disminuyó hasta la semana anterior al parto y aumentó tanto el día del parto como después ($p > 0,05$). Desde el día del parto, la concentración de triglicéridos disminuyó ($p < 0,05$), pero las concentraciones de colesterol y HDL aumentaron ($p < 0,05$). En cuanto a las variables reproductivas, el primer servicio se vio influenciado por la ITU y la ITGU en el momento del primer servicio, así como por el ICB y el ITCI. Los índices ambientales indicaban que las vacas de Girolando sufrían estrés térmico durante el período de la tarde, pero esto no influyó en el perfil energético durante los períodos de transición y espera voluntaria, que se mantuvo dentro del estado metabólico esperado en esta fase productiva de la vaca lechera. Las correlaciones entre el índice de confort (ICB) y la tolerancia al calor (ITCI) con la frecuencia respiratoria y la temperatura rectal indican que deberían utilizarse para evaluar el confort térmico de las vacas Girolando criadas en pastos de la sabana tropical.

Palabras clave: Estrés por calor; Medicina de producción; Metabolismo energético.

1. Introdução

A busca do aumento na eficiência produtiva é um fator decisivo para a competitividade do setor leiteiro, e isso depende da habilidade do produtor em gerenciar de forma eficiente todos os fatores que constituem o processo produtivo. Sabe-se que a produtividade em áreas de clima tropical é relativamente baixa, quando comparada aos sistemas de clima temperado, devido à influência do manejo, do potencial genético dos rebanhos e, principalmente, das condições adversas do ambiente (Herbut, Angrecka e Walkzak, 2018). No Brasil, devido a grande variação de microclimas, os fatores ambientais tornam-se um dos aspectos que influenciam, cada vez mais, a produtividade leiteira, e o conhecimento da interação entre os animais e o ambiente é fundamental para a análise crítica, e consequentes decisões quanto às estratégias de manejo a serem utilizadas para maximizar as respostas produtivas do rebanho (Ferreira et al., 2009). O estresse térmico, dentro da cadeia produtiva de bovinos leiteiros, é um dos grandes fatores que influenciam negativamente na sanidade, reprodução e produção de leite (Hansen, 2019). O aumento da produtividade dos rebanhos leiteiros formados com raças compostas ou mestiças exige maior conhecimento dos componentes bioquímicos sanguíneos, os quais, juntamente com o exame físico, podem ser utilizados como ferramentas para avaliação da saúde ou estresse do rebanho (Ferreira et al., 2009). O exame físico pode ser monitorado rotineiramente pela avaliação do escore corporal e dos parâmetros fisiológicos para identificar problemas de ordem produtiva e reprodutiva, além de indicar o estado nutricional do rebanho, alertando para ações de correções no manejo (Duboc et al, 2010; Roberts et al., 2012).

A zona de neutralidade térmica varia de acordo com a taxa metabólica, ou seja, a vaca de alta produção leiteira produz grande quantidade de calor metabólico e sua zona de neutralidade térmica torna-se baixa. A inter-relação entre animal e ambiente determina a zona de termoneutralidade para a espécie, raça e também o indivíduo. As vacas de origem europeia e alta produção leiteira são mais sensíveis ao estresse térmico e podem não expressar totalmente seu potencial; no entanto, animais mestiços também podem sofrer com o estresse térmico (Borges et al. 2012). Os dados são diversificados, e até mesmo não estabelecidos para raças mestiças; a zona de termoneutralidade não considera outros fatores que influenciam no estresse térmico como umidade, velocidade do vento e radiação solar. Índices que avaliam o ambiente, tais como o índice de temperatura e umidade (ITU) e o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), assim como os índices que avaliam a resposta e adaptabilidade do animal, como o Índice de Conforto de Benezra e o Índice de Tolerância ao

Calor de Iberia podem ser utilizados para quantificar a resposta animal nas situações de estresse térmico (Gaughan, Mader e Gebremehin, 2011). Os índices de estresse térmico baseados em variáveis meteorológicas foram desenvolvidos para prever o impacto do estresse térmico nos animais (Bohmanova et al. 2007).

Durante o período de transição, de três semanas pré a três semanas pós-parto, as vacas leiteiras experienciam adaptações fisiológicas com alterações no perfil metabólico que ocorrem em curto período de tempo e levam a problemas de saúde geral e reprodutiva. Avaliar essas alterações para prevenir e monitorar a saúde do rebanho permite conciliar saúde, bem estar e produtividade e é uma parte importante da medicina de produção (Leblanc, 2010). O período de transição pós-parto compõe o período de espera voluntário, que é o tempo requerido entre o parto e a vaca ser elegível novamente para a inseminação artificial, e dura, em média, 45-60 dias; sua duração está associada aos eventos de saúde que ocorrem no período de transição (Ichaisri et al., 2011). Vacas Girolando, embora mais adaptadas ao ambiente e com menor produção de leite/dia também são sensíveis às alterações metabólicas desse período, assim como ao estresse térmico, principalmente os animais com maior grau de sangue holandês (Borges et al. 2012); entretanto, informações sobre valores críticos para as raças mestiças (*Bos taurus* x *Bos indicus*) são escassas.

A savana tropical brasileira (ou bioma Cerrado) caracteriza-se por estações chuvosa e seca marcadas, constituindo-se no segundo maior bioma na América do Sul, ocupando 22% do território brasileiro. Cerca de 30% do leite bovino produzido no Brasil vem desse bioma, sendo que em grande parte dos sistemas de produção as vacas são mantidas por longos períodos sob pastejo, expostas às condições ambientais adversas (Bustamante et. al. 2012).

Para o desenvolvimento desse estudo observacional longitudinal foi hipotetizado que os índices ambientais afetam parâmetros fisiológicos e indicadores de balanço energético em vacas Girolando. Os objetivos foram avaliar as respostas fisiológicas e o perfil energético durante os períodos de transição e espera voluntário de vacas Girolando criadas na savana tropical e relaciona-los com indicadores de conforto térmico e tolerância ao calor.

2. Metodologia

Todas as práticas de manejo envolvendo os animais foram aprovadas pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal/UFG (CEUA) (processo # 101-14).

2.1. Local, Animais e Manejo

O estudo foi realizado em uma fazenda leiteira comercial na savana tropical brasileira, com clima tipo Cwa na classificação climática de Köppen-Geiger (Cardoso & Marcuzzo, 2014), latitude 16° 45' 32" S, longitude 49° 26' 16" W, 898 m acima do nível do mar. No rebanho são mantidas, em média, 80 vacas em lactação e todos os animais são registrados na Associação Brasileira de Criadores de Girolando. Foram incluídas vacas (n=20) de terceira a sétima lactação, peso médio 550 kg, pelagem preta e branca sem predomínio de cor e produção de 18 a 22 L/dia, mantidas em sistema de pastejo em capim *Brachiaria brizantha* cv. MG-5, com acesso as áreas de sombra formadas por árvores típicas da savana tropical e ordenhadas mecanicamente duas vezes ao dia (5:00 e 15:00 horas). Não foram incluídas vacas com sinais de distúrbios metabólicos antes ou após o parto, dificuldades de parto, retenção de envoltórios fetais ou qualquer outro distúrbio geral de saúde. As vacas em lactação recebiam a complementação alimentar no cocho duas vezes ao dia, por meio de ração total contendo silagem de milho e concentrado, de acordo com as exigências do nível de produção e seguindo as recomendações do NRC (2001).

2.2. Variáveis Climáticas

As variáveis climáticas foram obtidas a partir da mini-estação meteorológica automatizada da fazenda, utilizando termo-higrômetro (datalogger Onset®, U23-004 HOBO Pro v2) e o globo negro com termo-higrômetro (datalogger Incoterm® Klimalogg Smart), ambos sincronizados para registros em intervalos de 10 minutos, para medir a temperatura do ar, umidade relativa do ar (%) e a temperatura do globo negro. Os dados semanais foram utilizados para calcular o índice de temperatura e umidade (ITU, Mader et al. 2006) e o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU, Buffington et al. 1981), de acordo com as seguintes equações: $ITU = (0,8 \times T^{\circ}) + [(UR/100) \times (T^{\circ} - 14,4)] + 46,4$ e $ITGU = TGN + 0,36 \times Tpo + 41,5$, onde TA é a temperatura ambiente em °C, UR é a umidade relativa, TGN é a temperatura do globo negro, Tpo é a temperatura do ponto de orvalho.

2.3. Parâmetros Fisiológicos e Amostras de sangue

Semanalmente o mesmo veterinário avaliava as vacas antes e depois da ordenha, pela manhã e à tarde. A frequência respiratória (FR, mov/min), temperatura retal (TR, °C) e frequência cardíaca (FC, bat/min) foram mensuradas duas vezes ao dia (6:00 e 16:00 horas). A involução uterina foi avaliada utilizando escores para o tamanho do corno uterino

previamente gestante em: 1 ≤ dois dedos; 2= três dedos; 3= mão; 4= delimitada por uma mão sem sentir a maior curvatura; 5= não pode ser delimitada. Os ovários eram avaliados de acordo com o tamanho e presença de folículos ovarianos ≥ 4 mm ou corpo lúteo funcional. As amostras de sangue foram obtidas da veia coccígea e, após a centrifugação (2000g, 15 min) o soro e plasma foram armazenados a -80 °C até o momento das mensurações. Os dados de FR e TR (manhã e tarde) foram usados para calcular o Índice de Conforto de Benezra (ICB), descrito por Benezra em 1954 e o Índice de Tolerância ao Calor de Ibéria (ITCI), desenvolvido por Rhoad em 1944 (Gaughan, Mader, & Gebremedhin, 2011), de acordo com as seguintes equações: $ICB = (TR/38.33) + (FR/23)$ e $ITCI = 100 - [18(TR-39.1)]$, onde TR é Temperatura retal e FR é a Frequência Respiratória.

2.4. Perfil Energético

As concentrações de glicose, ácidos graxos não esterificados (AGNEs), beta-hidroxibutirato (β HB), triglicerídeos, HDL e colesterol foram mensuradas utilizando conjuntos comerciais processados em analisador bioquímico automatizado (Wiener CM200[®]), de acordo com as instruções do fabricante e os coeficientes de variação intra e inter-ensaio foram <5%.

2.5. Dados Reprodutivos

No 45^o dia após o parto as vacas consideradas aptas (escore de útero =1 e ovários cíclicos) eram liberadas para a inseminação artificial, após a identificação do estro natural. As vacas que não apresentaram estro até 70 dias após o parto foram submetidas ao protocolo de inseminação artificial em tempo fixo e foram inseminadas pelo menos uma vez até o 80^o dia após o parto. Os dados relativos ao intervalo parto-primeiro serviço, número de serviços por concepção e intervalo de partos foram obtidos no programa de controle de dados da fazenda.

2.6. Análise Estatística

Os resultados são apresentados como média \pm erro padrão da média. Utilizou-se a análise de variância de um fator seguida do pós-teste de Bonferroni por meio do pacote GraphPad Prism[®] 7 para Windows. As diferenças foram consideradas quando $p < 0,05$. O programa Microsoft Office Excel[®] versão 2010 foi utilizado para a elaboração dos gráficos.

3. Resultados e Discussão

3.1. Parâmetros Fisiológicos

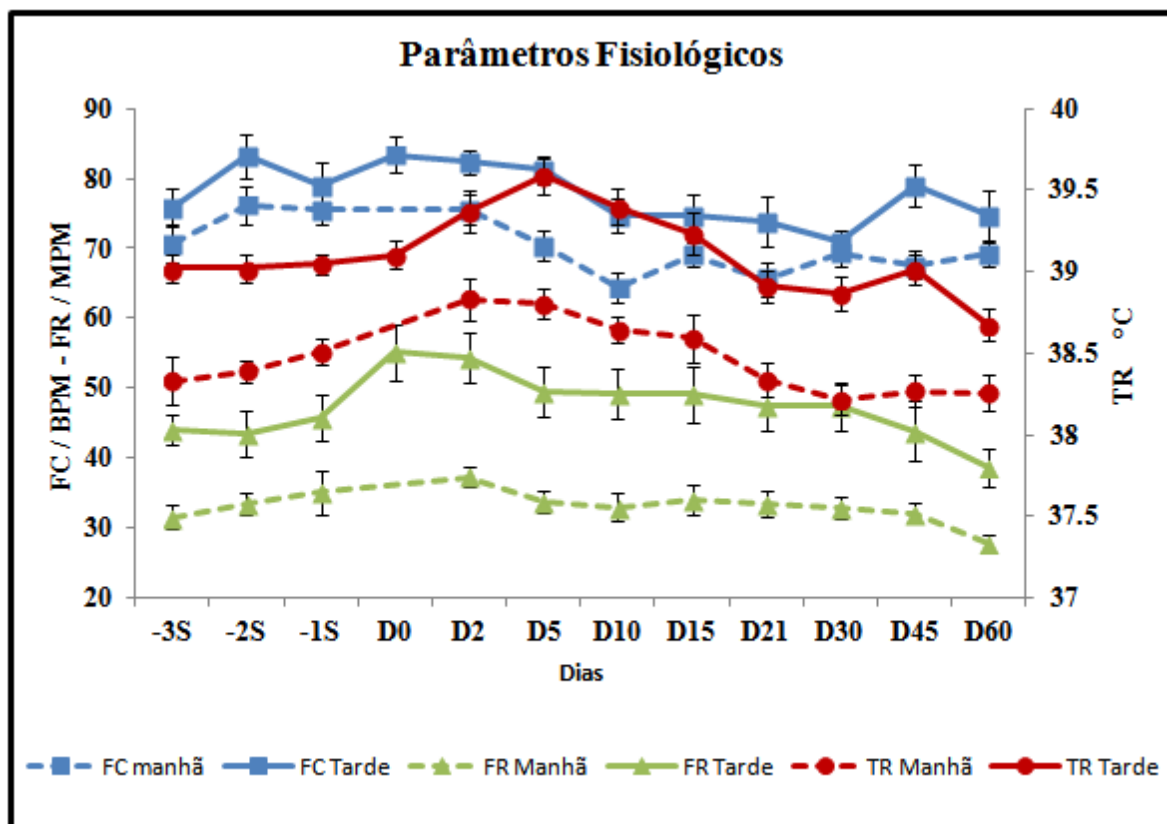
O comportamento dos parâmetros fisiológicos está exposto na Figura 1. As frequências cardíaca (FC) e respiratória (FR), assim como a temperatura retal (TR) diferiram entre as aferições da manhã e tarde ($p < 0,05$), tanto no período de transição pré quanto pós-parto, com os valores mais elevados no período da tarde. Avaliando o comportamento das médias, de acordo com os dias dentro do período de transição, observa-se elevação da FC pré até o quinto dia pós-parto, em ambos os períodos do dia; considerando o intervalo de normalidade entre 40 e 80 bat/min (Radostits, 2002), a FC acima da referencia clínica ocorreu no período da tarde. A elevação da FC em vacas expostas ao estresse térmico é uma resposta à queda da pressão sanguínea pelo aumento da vasodilatação periférica para perda de calor (Barros Júnior et al. 2015).

A alteração da FR é um dos primeiros sinais visíveis de que os animais estão submetidos ao estresse e depende da intensidade e duração do mesmo, o que faz desse parâmetro um bom indicador de estresse térmico (Azevêdo e Alves, 2009). Nos bovinos, cerca de 30% das perdas evaporativas ocorrem por meio dos movimentos respiratórios e 70% pela sudorese. A FR das vacas em estudo oscilou entre 27,8 a 37,3 mov/min pela manhã e 38,6 e 55,1 mov/min a tarde. O intervalo de normalidade varia de 10 a 36 mov/min (Terra e Reynolds 2014). No período da tarde verificaram-se, em todas as avaliações, médias acima de 36 mov/min, mais elevadas no dia do parto (55,1 mov/min) (Figura 1). O aumento da frequência respiratória no dia do parto pode estar relacionado ao processo do parto, quando as vacas estão mais agitadas e produzindo contrações uterinas e abdominais para expulsão do feto e anexo fetais. A FR elevada por várias horas interfere na ingestão de alimentos e ruminação, adiciona calor endógeno produzido pela atividade muscular e desvia a energia de outros processos metabólicos e produtivos. A associação da FR com a exposição ao estresse térmico mostrou que, entre 40 e 60, sinaliza baixo nível de estresse térmico e valores de 60 a 80 e 80 a 120 mov/min, como médio e alto risco, respectivamente. Vacas Girolando 1/2 sangue respondem melhor ao ITU elevado em termos de FR (Azevêdo e Alves, 2009). Todas as vacas, independente do período de parição, mostraram taquipnéia no período da tarde, sugerindo que os animais eram mantidos em um ambiente desconfortável (Figura 1).

A TR é um parâmetro que pode ser utilizado para determinar a resposta do animal ao ambiente, sendo considerado por alguns autores como a melhor forma para avaliar o estresse

térmico em vacas (Hansen, 2019). No período da manhã a média para TR oscilou entre 38,2 e 38,8°C e, no período da tarde, entre 38,7 e 39,6°C, acima dos valores de referência, entre 38 a 39,3°C (Radostits, 2002). Esse parâmetro é de interesse para animais criados a pasto, que dependem da condição do ambiente natural para desencadear o processo de regulação dos mecanismos endógenos adaptativos. Vacas em lactação apresentam temperatura mais elevada que as secas pela alta taxa metabólica (Baccari Jr. 2015). Distocias, retenção de envoltórios fetais, metrite ou mastite devem ser avaliadas na elevação da temperatura, pois podem causar hipertermia (Roberts et al. 2012). Nesse estudo vacas com distúrbios metabólicos e/ou reprodutivos no período de transição não foram incluídas, permitindo inferir que a elevação da TR fora do dia do parto foi ocasionada pelo ambiente. A elevação da TR reflete o acúmulo de calor resultante do excesso de calor recebido do ambiente (Herbut, Angrecka e Walksak, 2018). No período da tarde, a FR sempre esteve acima dos valores de referência e os eventos de hipertermia coincidem com as maiores médias de ITGU, no período de 8:00-16:00 horas.

Figura 1. Frequência Cardíaca, Frequência Respiratória e Temperatura Retal no período de três semanas pré até 60 dias após o parto, nos períodos da manhã e tarde, em vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical ($p < 0,01$ em todos os momentos).



Na Tabela 1 estão os dados obtidos no período entre 8:00 e 16:00 horas relativos a ITU, ITGU, FC, TR, FR e TR com as diferenças, visto ter sido esse intervalo de tempo aquele no qual mais variáveis diferiram entre si.

3.2. Variáveis Ambientais

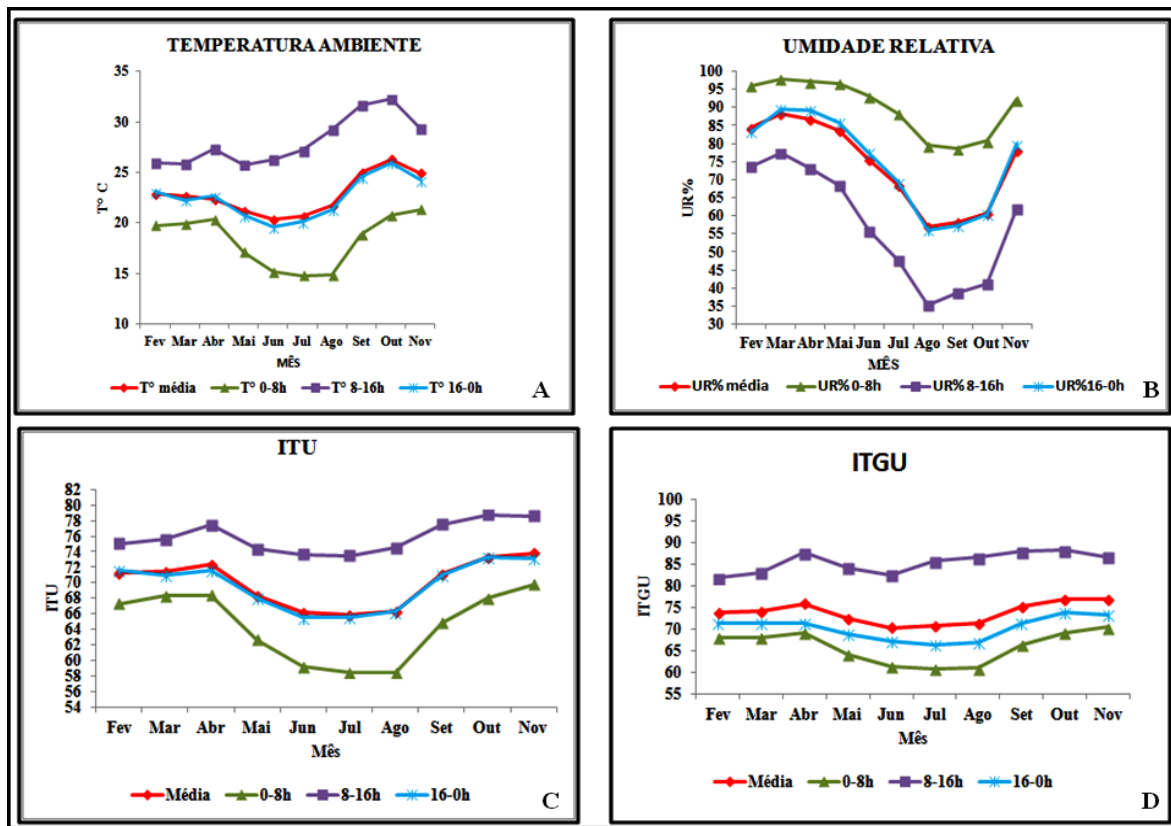
Na Figura 2 estão os dados relativos à temperatura ambiente (TA), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) durante os meses do estudo. Para melhor visualização e interpretação dos resultados o período de 24 horas foi dividido em intervalos de oito horas.

Tabela 1. Médias \pm erro padrão dos índices térmicos do microclima (período de 8-16h), das variáveis fisiológicas: frequência cardíaca (bat/min), frequência respiratória (mov/min) e temperatura retal ($^{\circ}$ C) nos períodos da manhã e tarde em vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical.

	<u>Frequência Cardíaca</u>				<u>Frequência Respiratória</u>		<u>Temperatura Retal</u>	
	ITU	ITGU	p < 0,05		p < 0,01		p < 0,05	
			M	T	M	T	M	T
-3S	74,6 \pm 0,4	82,0 \pm 0,7	70,6 \pm 2,7	75,9 \pm 2,8	31,6 \pm 1,7	44,0 \pm 2,1	38,3 \pm 0,2	39,0 \pm 0,1
-2S	73,9 \pm 0,4	81,8 \pm 0,7	76,2 \pm 2,7	83,2 \pm 3,1	33,5 \pm 1,6	43,4 \pm 3,3	38,4 \pm 0,1	39,0 \pm 0,1
-1S	75,4 \pm 0,4	84,7 \pm 0,8	75,6 \pm 2,3	79,0 \pm 3,3	35,1 \pm 3,1	45,8 \pm 3,4	38,5 \pm 0,1	39,0 \pm 0,1
D0	76,6 \pm 0,4	87,0 \pm 0,7	-	83,4 \pm 2,5	-	55,1 \pm 4,0	-	39,1 \pm 0,1
D2	76,3 \pm 0,4	86,5 \pm 0,7	75,5 \pm 2,2	82,4 \pm 1,7	37,3 \pm 1,5	54,4 \pm 3,6	38,8 \pm 0,1	39,4 \pm 0,1
D5	75,7 \pm 0,4	85,8 \pm 0,7	70,4 \pm 2,0	81,2 \pm 2,0	33,7 \pm 1,6	49,5 \pm 3,6	38,8 \pm 0,1	39,6 \pm 0,1
D10	76,2 \pm 0,4	86,2 \pm 0,7	64,4 \pm 2,1	74,7 \pm 2,4	33,0 \pm 2,0	49,3 \pm 3,5	38,6 \pm 0,1	39,4 \pm 0,1
D15	75,6 \pm 0,4	85,2 \pm 0,7	69,1 \pm 1,6	74,8 \pm 3,0	34,0 \pm 2,1	49,1 \pm 4,0	38,6 \pm 0,1	39,2 \pm 0,1
D21	75,3 \pm 0,4	84,9 \pm 0,6	65,6 \pm 2,4	73,8 \pm 3,6	33,6 \pm 1,9	47,4 \pm 3,5	38,3 \pm 0,1	38,9 \pm 0,1
D30	74,6 \pm 0,4	84,0 \pm 0,6	69,4 \pm 2,0	71,1 \pm 1,5	33,0 \pm 1,6	47,4 \pm 3,4	38,2 \pm 0,1	38,9 \pm 0,1
D45	73,6 \pm 0,4	83,9 \pm 0,7	67,6 \pm 2,0	79,1 \pm 3,1	32,1 \pm 1,4	43,9 \pm 4,4	38,3 \pm 0,1	39,0 \pm 0,1
D60	73,9 \pm 0,4	85,3 \pm 0,7	69,3 \pm 2,0	74,6 \pm 3,7	27,8 \pm 1,3	38,6 \pm 2,8	38,3 \pm 0,1	38,7 \pm 0,1

ITU: índice de temperatura e umidade, ITGU: índice de temperatura de globo e umidade. M: manhã, T: tarde.
 Em p < 0,01 e < 0,05 as médias diferem entre os períodos da manhã e tarde.

Figura 2. Temperatura ambiente, umidade relativa, índice de temperatura e umidade e índice de temperatura de globo negro e umidade no período de três semanas pré até 60 dias após o parto de vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical.



Em (A) verifica-se que o período mais quente do dia, independente do mês, foi aquele compreendido entre 8:00 e 16:00 horas. De forma inversa a UR (B) foi a menor entre 8:00 e 16:00 horas. Nos meses de menor média diária, houve grande amplitude na TA, com valores de 9,3°C durante o período de 0:00 as 8:00 e 37°C no período de 8:00 as 16:00 horas no mês de agosto. Os dados são escassos e há divergências quanto à determinação de TAs críticas para bovinos. Vacas *Bos taurus* são mais sensíveis ao estresse térmico, mas animais mestiços também sofrem a influência negativa das altas temperaturas (Borges et al. 2012).

TA superior a 26°C é considerada crítica para vacas leiteiras europeias, enquanto até 29°C pode não causar prejuízos para raças tropicais. Vacas leiteiras de alta produção estão na zona de conforto quando a TA está entre cinco e 15°C e qualquer elevação será suficiente para acarretar perdas produtivas (Herbut, Angrecka e Walksak, 2018). Avaliando-se os resultados desse estudo fica evidente que, para a região e animais estudados, a grande amplitude entre a TA mínima e máxima não permite a utilização desse parâmetro isolado para determinar o limiar de temperatura envolvido no estresse térmico, pois os valores mais baixos

foram influenciados pelas temperaturas baixas que ocorrem durante o período de 0:00 a 8:00 horas.

A maior média diária de UR foi 88,2% e a menor, 57%, com valores abaixo de 30% em alguns momentos (Figura 2). De forma inversa ao comportamento da TA, a maior umidade relativa foi verificada no período de 0:00-8:00 horas e os menores, de 8:00-16:00 horas. A TA e UR influenciam a capacidade da dissipação do calor para o ambiente. Radiação, condução, convecção e evaporação são mecanismos que auxiliam os animais homeotermos a controlar o equilíbrio entre o calor produzido e recebido (termogênese) e a dissipação de calor para o ambiente (termólise). Quando a TA é maior que a temperatura corpórea, o resfriamento evaporativo é a única forma de perda de calor e depende da umidade do ar, sendo mais eficiente em áreas de baixa umidade (Herbut, Angrecka e Walksak, 2018).

O ITU combina o efeito da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar e é uma forma útil de avaliar o ambiente, auxiliando na tomada de decisões de manejo a fim de minimizar os efeitos deletérios decorrentes do estresse térmico (Lees et al. 2019; Azevêdo e Alves, 2009). Valores considerados críticos devem ser analisados de acordo com a localização, as raças e graus de sangue, assim como o nível de produção, mas valores críticos para raças mestiças ainda não estão definidos. Em geral os valores de ITU são classificados de acordo com o nível de estresse em ausência (ITU < 72), leve (ITU 72 a 78), moderado (ITU 79 a 88) e severo (ITU 89 a 98); recentemente demonstrou-se que vacas leiteiras *Bos taurus* iniciam o declínio na produção de leite em ITU igual a 68 (Allen et al., 2015). O ITU aqui relatado mostra valores entre 65,8 e 73,8 nas médias diárias, mas a análise detalhada evidencia que, entre 8:00-16:00 horas, o ITU alcançou 79. Em todos os meses as vacas estiveram expostas ao ITU de estresse moderado, igual ou maior que 79 (Armstrong, 1994). A diferença foi o tempo que as vacas foram expostas ao ITU inadequado, com 40% do dia acima de 68 e 31% acima de 72 em julho e, em novembro, 91% do dia acima de 68 e 56,1% acima de 72. Na Figura 1 observa-se, ao longo dos meses, a mesma tendência de redução e elevação no ITU, sugerindo que as vacas permaneceram expostas ao estresse térmico em todo o período de avaliação, diferindo apenas no tempo de exposição. Nesse estudo foi avaliado um rebanho de vacas Girolando registradas, portanto com grau de sangue 3/4, 5/8 e 7/8 Gir / Holandes. Valores críticos de ITU para raças mestiças são escassos, mas estimativas anteriores mostraram que sob ITU entre 75 e 80 vacas Girolando mostram sinais de estresse térmico tais como elevação da TR da FR (Azevêdo e Alves, 2009).

As avaliações referentes ao ITGU (D) mostraram valores médios diários de 70,3 a 79,5 com os maiores valores (81,8 e 88,2) no período de 8:00-16:00 horas. Da mesma forma

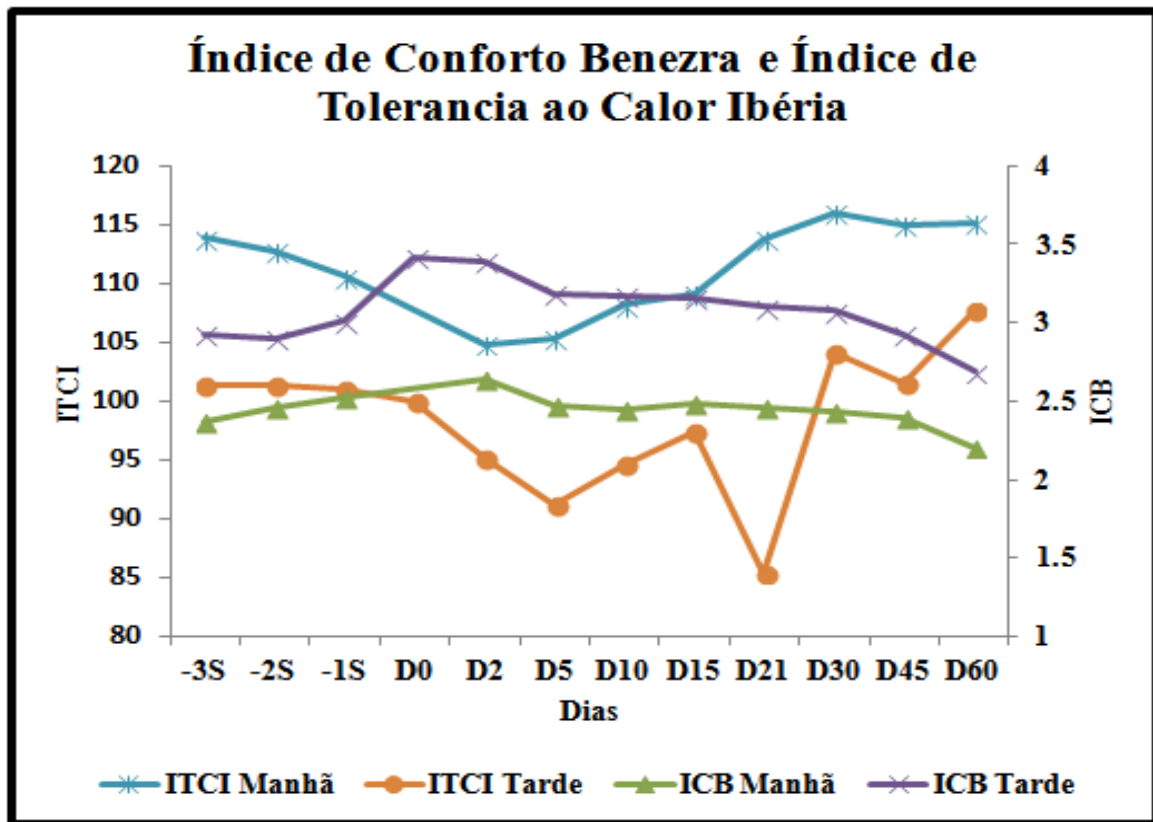
que para ITU, são escassos os dados que associam o ITGU crítico para raças compostas. O ITGU é classificado em 74 a 78 (alerta), 79 a 84 (perigo) e acima de 84 (emergência); esses valores devem ser analisados com cautela pelas diferenças entre espécies e raças (Da Silva et al. 2015; Da Silva et al. 2007). Quando o comportamento ingestivo (Silva et al., 1999) e a FR (Azevêdo e Alves, 2009) de vacas Girolando foram considerados na interpretação do ITGU, valores de 79 a 83 foram considerados críticos para a raça. O efeito combinado da temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento é responsável pelo ambiente de estresse térmico (Dikmen e Hansen, 2009). Durante todo o período as vacas estiveram diretamente expostas às oscilações desses fatores, principalmente à radiação solar, e ao ITGU de perigo e emergência (≥ 74) em mais de 30% em 24 horas em todos os meses.

3.3. Índices de Conforto e Tolerância ao Calor

A presença de genes *Bos taurus* na composição genética de algumas raças resulta em menor adaptação ao estresse térmico em relação aos grupos raciais nativos ou adaptados ao clima tropical. A raça Girolando, criada para formar um grupamento étnico brasileiro capaz de produzir leite de forma economicamente viável em condições tropicais e sub-tropicais, origina-se de diferentes estratégias de acasalamento entre as raças Holandesa e Gir, as quais devem ser conduzidas de forma a obter o grau de 5/8 Holandês + 3/8 Gir (Freitas, Durães e Menezes, 2002). Quanto maior o grau de sangue *Bos taurus* menor a capacidade adaptativa ao ambiente tropical. A tolerância ao calor de uma espécie, raça ou indivíduo depende do patrimônio genético e atributos anatômicos e fisiológicos inerentes, refletindo assim em maior ou menor intensidade de resposta e mecanismos fisiológicos para perda de calor.

O índice de conforto de Benezra (ICB), cujo cálculo baseia-se na TR e FR, é utilizado para avaliar a adaptabilidade do animal ao ambiente, pois leva em conta parâmetros fisiológicos. A análise do ICB associada aos dados ambientais e parâmetros fisiológicos mostrou que houve estímulo para a ativação dos mecanismos de homeostase térmica, reforçando que os animais estavam constantemente expostos ao ambiente adverso (Figura 3). Para o ICB valores próximos a 2,0 representam alto grau de adaptabilidade ao meio ambiente e valores maiores, desconforto ao ambiente adverso (Mader, Johnson e Gaughan, 2010; Gaughan, Mader, & Gebremedhin, 2011). Na Figura 3 verifica-se que, mesmo com temperaturas mais amenas, o ICB esteve acima de 2,0 e refletiu a condição dos animais às variações do ITU e do IGTU. Em todas as avaliações o ICB diferiu entre manhã e tarde ($p < 0,01$).

Figura 3. Índice de Conforto Benezra (ICB) e Índice de Tolerância ao Calor Ibéria (ITCI) no período de três semanas pré até 60 dias após o parto de vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical ($p < 0,01$ em todos os momentos).



Assim como o ICB o ITCI é uma ferramenta útil que permite a avaliação da carga térmica suportada pelo animal em um determinado momento e local. Considerado como o único índice que apresenta forte correlação negativa com a TR em vacas leiteiras ($r = -0,99$; Rocha et al. 2012) e com escala de “0” a “100”, indica que, quanto mais próximo ao 100 mais tolerante ao calor o animal será, com diferenças dentro de um mesmo período justamente pela alta correlação negativa com a TR. Os resultados obtidos com o cálculo do ITCI (Figura 3) mostram que o ITCI mais elevado ocorreu pela manhã (de 104,9 a 116,0) diferindo ($p < 0,01$) da tarde (de 85,4 a 107,0) em todos os meses. Pela manhã, com o conforto relativo das temperaturas mais baixas durante a noite, as vacas conseguiam manter a temperatura corporal, estando mais próximas da zona termoneutra. Pela grande amplitude na temperatura ambiente (Figura 2) ao longo do dia o período da tarde representou a condição muito menos favorável aos animais, por estarem no pasto e expostos à maior radiação solar e acúmulo de calor no ambiente. A TR elevada sugere que os mecanismos de dissipação de calor estão sendo suficientes para manter a homeotermia (da Silva et al. 2015).

Quando os parâmetros fisiológicos foram correlacionados com esses dois índices verificou-se que o ICB das manhãs apresentou correlação com a TR ($r= 0,7$; $p=0,02$) e com a FR ($r= 0,6$; $p=0,03$). O ICB da tarde correlacionou-se com a FC ($r= 0,6$; $p=0,04$). Quanto ao ITCI, as correlações ocorreram no período da manhã com a TR ($r= -1,0$; $p<0,0001$) e FR ($r= -0,8$; $p= 0,003$). Essas correlações, diretas quanto ao ICB e inversas para ITCI indicam que as vacas com menor FR e TR foram capazes de responder melhor ao desafio ambiental.

3.4. Perfil Energético

Não houve alteração nas concentrações de glicose entre os momentos de colheitas ($p > 0,05$), com decréscimo após o parto, atingindo valor mínimo de $53,8 \pm 2,8$ mg/dL no quinto dia após o parto, e uma tendência crescente até o 30º dia pós parto, com $58,2 \pm 1,9$ mg/dL, semelhante aos encontrados no pré-parto. As concentrações plasmáticas de glicose permanecem estáveis ou aumentam rapidamente próximo ao parto pelo aumento das concentrações de glucagon e glicocorticoides, fazendo a depleção do glicogênio hepático, direcionando glicose para a glândula mamária. A queda das concentrações no pós-parto e o retorno gradativo demonstra a queda da glicemia típica do balanço energético negativo do pré-parto e posterior recuperação da ingestão de matéria seca, que estava prejudicada no pré-parto e pós-parto imediato. A glicose desempenha papel importante na reprodução da vaca, pois é o principal combustível metabólico do ovário. Devido aos intensos mecanismos de controle homeostático, a glicose sanguínea não parece ser um parâmetro eficiente como indicador do balanço energético, colocando em dúvida sua aferição no estudo do perfil metabólico (Tao et al., 2011; Leblanc, 2010).

Os AGNEs e o β HB são os indicadores metabólicos mais usados na determinação do balanço energético, pois são relacionados com a taxa de mobilização de reservas lipídicas, nos momentos de déficit energético. Durante o período de transição, devido às mudanças endócrinas, metabólicas e fisiológicas, ocorre o confronto entre maior exigência de energia e menor ingestão de matéria seca, quando a vaca utiliza as reservas corporais para suprir a demanda de energia, com diminuição da lipogênese e aumento da lipólise do tecido adiposo. A magnitude de mobilização das reservas corporais é refletida pela concentração plasmática de AGNEs pela quebra dos triglicerídeos e é a principal fonte de energia, durante o período de transição (Leblanc, 2010; Duffield e Leblanc, 2009).

Tabela 2. Médias \pm erro padrão média das concentrações de glicose (mg/dL), AGNEs (mmol/L), β HB (mmol/L), triglicerídeos (mg/dL), colesterol (mg/dL), HDL (mg/dL) nos períodos de transição e espera voluntário de vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical.

	P		-3S	-2S	-1S	D0	D2	D5	D10	D15	D21	D30	D45	D60
Glicose	> 0,05	Média	58.6	59.0	58.2	58.5	54.8	53.7	54.5	55.0	56.1	58.1	.	.
		EPM	1.2	1.4	1.2	1.8	2.0	2.7	1.6	1.1	2.3	1.8	.	.
AGNE	< 0,05	Média	0.27	0.27	0.25	0.45	0.4	0.36	0.3	0.34	0.28	0.24	.	.
		EPM	0.04	0.08	0.05	0.05	0.06	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	.
BHB	> 0,05	Média	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	.	.
		EPM	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.05	0.05	0.06	0.04	.	.
Triglicerídeos	< 0,05	Média	22.2	28.2	24.5	7.0	7.3	7.5	7.8	8.3	7.8	7.3	7.7	6.1
		EPM	1.8	2.6	1.6	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	1.0	1.2	0.7
Colesterol	< 0,05	Média	104.2	103.4	96.7	79.6	82.7	82.7	92.1	103.8	115.3	129.6	154.1	165.0
		EPM	5.3	6.4	5.5	3.4	6.2	4.8	5.7	6.1	7.0	7.1	8.4	9.9
HDL	< 0,05	Média	63.0	64.7	63.3	55.4	57.4	59.4	68.6	74.3	82.3	87.5	83.9	77.9
		EPM	3.6	3.9	4.0	2.7	4.8	4.0	4.7	4.4	4.6	4.3	4.3	5.0

Alguns valores de AGNEs são definidos como críticos e associados às enfermidades do pós-parto (Ospina et al., 2010), mas os valores de referência considerados críticos, mesmo os utilizados em análises de rebanhos com vacas mestiças, foram obtidos em avaliações de vacas da raça Holandesa criadas em clima subtropical ou temperado, não havendo ainda um valor definido para vacas Girolando. Houve diferença para as concentrações de AGNEs entre os momentos de colheita ($p < 0,05$), com valor mínimo de $0,17 \pm 0,04$ mmol/L na terceira semana pré parto e máximo no dia do parto ($0,45 \pm 0,05$ mmol/L), com decréscimo ao longo do período de transição pós parto, porém sem correlação com os índices indicadores de estresse térmico ($p > 0,05$). Os AGNEs refletem a magnitude de mobilização das reservas corporais e altas concentrações plasmáticas são relacionadas com alta incidência de doenças metabólicas no periparto (Leblanc, 2010), assim como fator de risco para infecção uterina na primeira semana pós-parto (Duboc et al. , 2010). Menores concentrações de AGNEs ocorrem sob estresse térmico, mesmo em casos de balanço energético negativo, pois, devido ao aumento da insulina, há menor intensidade de mobilização das reservas corporais e menos AGNEs circulantes, como forma da vaca produzir menos calor, pois na oxidação dos AGNEs ocorre maior liberação de calor (Wheelock et al. , 2010).

Quanto ao β HB não foram verificadas diferenças entre os momentos de colheita ($p > 0,05$), com concentrações abaixo de 1,0 mmol/L. A mensuração de β HB associa-se aos AGNEs na análise do perfil energético (Duffield e Leblanc, 2009), pois é um corpo cetônico produzido pela beta oxidação da Acetil-CoA, que tem origem na oxidação incompleta dos AGNEs no fígado. O β HB é o principal corpo cetônico circulante e devido a estabilidade, sua mensuração tem sido utilizada como parâmetro confiável, pois aparece em baixas quantidades no plasma e o acúmulo relaciona-se com a limitada capacidade dos ruminantes em produzir a oxidação completa dos AGNEs e exportação dos triglicerídeos, o que refletirá em maior conversão da Acetil-CoaA em β HB nos casos de maior mobilização de gordura (Duffield e LeBlanc, 2009). Assim como para os AGNEs, não há valores de referência de β HB específicos para animais mestiços; estudos anteriores sobre a concentração de β HB no período de transição de vacas Girolando relatam valores de 0,84 mmol/L até o final da primeira semana pos parto (Moreira et al. 2015). Outro fator que interfere nos resultados é a exposição ao estresse térmico associado aos valores mais baixos de AGNEs e β HB, mesmo em casos de balanço energético negativo. Isso ocorre devido ao aumento da insulina, que age diminuindo a intensidade de mobilização das reservas corporais para reduzir a produção de calor com a não oxidação dos AGNEs (Wheelock et al. 2010).

Quanto às concentrações de triglicerídeos verificou-se diferença entre os momentos de avaliação ($p < 0,05$), sempre mais elevadas na segunda semana pré-parto, queda brusca no dia do parto e estabilização no período pós-parto. Os triglicerídeos são as principais formas de estoque dos AGNEs e devido à lipólise, são quebrados para liberarem AGNEs que serão encaminhados para o fígado para produzir energia pela gliconeogênese (Kaneko, Harvey e Bruss, 2008). Vacas Girolando criadas na savana tropical mostraram maiores concentrações de triglicerídeos no verão, mas com a mesma tendência de estabilização no pós-parto. A concentração de triglicerídeos varia de acordo com a fase da lactação e sua utilização pela glândula mamária (Moreira et al. 2015).

As concentrações de colesterol e HDL diferiram entre os momentos de avaliação ($p < 0,05$), com decréscimo no pré-parto até o parto, atingindo o valor mínimo e elevação até o 60º dia pós-parto. Além da mensuração dos triglicerídeos, o colesterol é útil nas avaliações do perfil energético, correspondendo a 30% do total de lipídios, e pode ter origem exógena, proveniente da alimentação, e endógena, sendo sintetizado principalmente no fígado. Elevações nas concentrações de colesterol após o parto refletem o aumento na captação de lipídios no fígado, sugerindo que a elevação de colesterol está associada com a maior mobilização de tecidos, maior ingestão de alimento, elevação na síntese de hormônios esteroides e lipoproteínas (Kaneko, Harvey e Bruss, 2008).

3.5. Variáveis Reprodutivas

Na Tabela 3 estão as variáveis reprodutivas avaliadas. Houve diferença para o intervalo entre o parto e o primeiro serviço para as vacas consideradas elegíveis para inseminação artificial e expostas ao ITU e ITGU mais elevados ($p < 0,01$), assim como para o $ICB \geq 2,9$ e $ITCI < 100$, mas o número de serviços por concepção e o intervalo de partos não foram influenciados por esses índices.

A expressão do estro é influenciada pela temperatura retal, a qual sofre efeito da temperatura ambiente (Hansen, 2019). Assim, vacas em condição de estresse térmico tendem a mostrar de forma menos intensa os sinais rotineiramente utilizados para detectar o estro tais como atividade de monta, assim como a quantidade e qualidade do muco expelido durante o estro (Schüller, Michaelis e Heuwieser, 2017). A falha na detecção de estro leva, por sua vez, ao aumento no número de dias para o primeiro serviço, como verificado no presente estudo. Essa variável não impactou, no entanto, o número de serviços por concepção ou o intervalo de partos. O período de serviço avalia o intervalo entre o parto e a prenhez, pois o menor tempo

significa sucesso nos resultados do rebanho. Os resultados sofrem influência sazonal de acordo com o clima; quando o parto ocorre em épocas com temperaturas mais baixas (outono e inverno), ao contrario de épocas de elevadas temperaturas ambientais e umidade relativa do ar (primavera e verão) a chance de sucesso ao primeiro serviço é maior (Jitjumnonga et al. 2020; Bomkun et al. 2011).

Tabela 3. Intervalo parto-primeiro serviço (IPPS, dias), número de serviços por concepção (SC) e intervalo de partos (IP, dias) em relação ao ITU, ITGU, ICB e ITCI após o período de espera voluntário (45 dias pós-parto) de vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical.

	Geral	ITU \leq 72 ITGU 74-78	ITU $>$ 72 ITGU $>$ 78	ICB \geq 2,9	ITCI <100
	Média \pm EPM				
IPPS	79,1 \pm 4,3	64,2 \pm 3,2 ^a	94,0 \pm 7,2 ^b	90,9 \pm 2,3*	81,2 \pm 3,1*
SC	2,0 \pm 0,1	2,2 \pm 0,2	1,9 \pm 0,2	2,1 \pm 0,2	2,0 \pm 0,3
IP	408,0 \pm 9,4	399,5 \pm 12,6	416,3 \pm 14,6	400,1 \pm 12,0	416,3 \pm 10,0

^{a,b}p<0,01; *p<0,01 para ICB<2,9 e ITCI <100 após 45 dias pós parto

Durante o período de estudo os índices aqui considerados para avaliar condições de estresse térmico mostraram grande variação, evidenciando que as vacas estiveram durante grande parte do tempo em condições desfavoráveis para o seu conforto. Ainda assim essas condições não interferiam no numero de serviços por concepção e intervalo de partos, dois pontos de extrema importância na avaliação econômica do sistema de produção de leite (Jitjumnonga et al. 2020; Schüller, Michaelis e Heuwieser, 2017).

4. Considerações Finais

Os índices ambientais indicaram que as vacas Girolando sofreram estresse térmico durante o período da tarde, mas isso não influenciou o perfil energético durante os períodos de transição e espera voluntário, o qual permaneceu dentro do esperado para o estado metabólico nessa fase produtiva da vaca leiteira. As correlações entre os índices de conforto (ICB) e tolerância ao calor (ITCI) com a frequência respiratória e a temperatura retal confirmam a hipótese de que os índices ambientais afetam parâmetros fisiológicos e indicadores de balanço energético em vacas leiteiras, indicando que devem ser utilizados para avaliar o conforto térmico de vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical.

Referências

- Allen, J.D., Hall, L.W., Collier, R.J., & Smith, J.F. (2015). Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *Journal of Dairy Science*. 98,118–127.
- Armstrong, D. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*.77(7),2044–2050.
- Azevêdo, D.M.M.R., & Alves, A.A. (2009). *Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos*. Teresina: Embrapa Meio-Norte-Documents (INFOTECA-E).
- Baccari Júnior, F. (2015). A Vaca Leiteira e as Mudanças Climáticas Globais. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*. 3(1),1–8.
- Barros Junior, CP., Sousa, P.H.A.A., Cavalcante, D.H., Oliveira, M.R.A., Andrade, T.V., & Fonseca, W.J.L. (2015). Adaptabilidade de vacas Girolando em lactação ao clima semiárido do Piauí na cidade de Bom Jesus. In: X Congresso Nordestino de Produção Animal. Teresina - Piauí.
- Bohmanova, J., Misztal, I., & Cole, J.B. (2007). Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science*, 90, 1947-1956.
- Buffington, D.E., Collazo-Arocho, A., Canton, G.H., Pitt, D., Thatcher, W.W., & Collier, R.J. (1981). Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*. 24 (3), 711-714.
- Bustamante, M.M.C., Nardoto, G.B., Pinto, A.S., Resende, J.C.F., Takahashi, F.S.C., & Vieira, L.C.G. (2012). Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Brazilian Journal of Biology*.72(3,Suppl.),655-671.
- Borges, C.R.A., Azevêdo, M., Lima, I.A., Brasil, L.H.A., & Ferreira, M.A. (2012). Heterogeneous genetic cows of three genetic groups in feedlot system in the state of Pernambuco, Brazil. *Acta Scientiarum Animal Science*. 34(1),91–96.

Cardoso, M.R.D., & Marcuzzo, F.F.N. (2014). Climatic classification of Köppen-Geiger for the State of Goiás and the Federal District. *Acta Geográfica*. 8,40-55.

Da Silva, J.A.R., de Araújo, A.A., Lourenço Júnior, J.d.B., dos Santos, N.F., Garcia, A.R., & de Oliveira, R.P. (2015). Thermal comfort indices of female Murrah buffaloes reared in the Eastern Amazon. *International Journal of Biometeorology*. 59, 1261–1267.

Da Silva, R.G., Morais, D.A.V.F., & Guilhermino, M.M. (2007). Evaluation of stress indexes for dairy cows in tropical regions. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36,1192–1198.

Dikmen, S., Hansen, P.J. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*. 92(1),109–116.

Dubuc, J., Duffield, T.F., Leslie, K.E., Walton, J.S., & Leblanc, S.J. (2010). Risk factors for postpartum uterine diseases in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 93(12),5764–5771.

Duffield T.F. & LeBlanc S.J.(2009). Interpretation of serum metabolic parameters around the transition period. *Anais 24ªSouthwest nutrition and management conference, Tucson, AZ*,106-114.

Ferreira, F., Campos, W.E., Carvalho, A.U., Pires, M.F.A., Martinez, M.L., Silva, M.V.G.B., Verneque, R.S., & Silva, P.F.. (2009). Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 61(4), 769-776.

Freitas, A.F., Durães, M.C., & Menezes, C.R.A.(2002). Girolando: raça tropical desenvolvida no Brasil. *Circular Técnica 67*. Embrapa.

Gaughan, J., Mader, T., & Gebremedhin, K. (2011). Rethinking heat index tools for livestock. In: Collier RJ, Collier JL, editors. *Environmental physiology of livestock*. West Sussex, UK: Wiley-Blackwell.

Hansen, P. J. (2019). Reproductive physiology of the heat-stressed dairy cow: implications for fertility and assisted reproduction. *Animal Reproduction*, 16(3), 497-507.

Herbut, P., Angrecka, S., & Walczak, J. (2018). Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle-a review. *International Journal of Biometeorology*, 62(12), 2089–2097.

Inchaisri, C., Jorritsma, R., Vos, P., Van der Weijden, G., & Hogeveen, H. (2011). Analysis of the economically optimal voluntary waiting period for first insemination. *Journal of Dairy Science*, 94,3811-3823.

Jitjumnonga, J., Moonmaneea,T., Sudwand,P., Mektrirate, R., Osathanunkulf, M., Navanukrawg,C., Panatukh, J., Yamaa, P., Pirokada, W., U-krita, W., & Chaikola, W. (2020). Associations among thermal biology, preovulatory follicle diameter, follicular and luteal vascularities, and sex steroid hormone concentrations during preovulatory and postovulatory periods in tropical beef cows. *Animal Reproduction Science*. 213,106281.

Kaneko, J.J., Harvey, J.W., & Bruss, M.L. (2008). *Clinical biochemistry of domestic animals*. 6th ed. San Diego: Elsevier Inc, Academic Press.

LeBlanc, S. (2010). Health in the transition period and reproductive performance. In: *Advances in dairy technology: Proceedings of the Western Canadian Dairy Seminar*, 97–110.

Lees, A. M., Sejian, V., Wallage, A. L., Steel, C. C., Mader, T. L., Lees, J. C., & Gaughan, J. B. (2019). The Impact of Heat Load on Cattle. *Animals*. 9(6),322.

Mader, T.L., Davis, M.S., & Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 84(3),712–719.

Mader, T.L., Johnson, L.J., & Gaughan, J.B. (2010). A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *Journal of Animal Science*. 88(6),2153–2165.

Moreira, T. F., Zambrano, J.U., Paula, V. M., Casagrande, F.P., Facury Filho, E.J., Molina, L.R., Leme, F. O.P., & Carvalho, A.U. (2015). Perfil mineral de vacas mestiças Girolanda no

período de transição em sistema semi-intensivo em duas estações do ano. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 35(3), 249-257.

NRC (2001). National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

Ospina, P.A., Nydam, D.V., Stokol, T., & Overton, T.R. (2010). Evaluation of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *Journal of Dairy Science*. 93(2),546–554.

Radostits, O.M. (2002). Exame clínico de bovinos adultos e bezerros. In: Radostits, O. M. Exame clínico e diagnóstico em veterinária. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

Roberts, T., Chapinal, N., LeBlanc, S.J., Kelton, D.F., Dubuc, J., & Duffield, T.F. (2012). Metabolic parameters in transition cows as indicators for early-lactation culling risk. *Journal of Dairy Science*. 95(6),3057–3063.

Rocha, D.R., Sales, M.G.F., Moura, A.A.A.N., & Araújo, A.A., (2012). Índices de tolerância ao calor de vacas leiteiras nos períodos chuvoso e seco no Ceará. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*. 10(4),335-343.

Schüller, L.K., Michaelis, I., Heuwieser, W. (2017), Impact of heat stress on estrus expression and follicle size in estrus under field conditions in dairy cows. *Theriogenology*, 102,48-53.

Tao, S., Bubolz, J.W., Do Amaral, B.C., Thompson, I.M., Hayen, M.J., Johnson, S.E., & Dahl, G.E. (2011). Effect of heat stress during the dry period on mammary gland development. *Journal of Dairy Science*. 94(12),5976–5986.

Terra, R.L., & Reinolds, J.P. (2014). Ruminant history, physical examination, welfare assessment, and records. In: Smith BP, editor. *Large Animal Internal Medicine*. 5th ed. Missouri: Mosby Elsevier.

Wheelock, J.B., Rhoads, R.P., VanBaale, M.J., Sanders, S.R., & Baumgard, L.H. (2010). Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 93(2),644–655.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Thiago Nogueira Marins – 14,3%

Ítalo Garcia Borges de Almeida - 14,3%

Bárbara Vinhal Lôbo - 14,3%

Caíque Michel Barbosa Pessoa - 14,3%

Rafaela Cavalcanti Teixeira - 14,3%

Benner Geraldo Alves - 14,3%

Maria Lúcia Gambarini - 14,3%