



**JARDEL NERI**

**AMBIENTE TÉRMICO EM CONFINAMENTOS  
DE GADO LEITEIRO NO BRASIL**

**LAVRAS - MG**

**2013**

**JARDEL NERI**

**AMBIENTE TÉRMICO EM CONFINAMENTOS DE GADO LEITEIRO  
NO BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, área de concentração em Ciências Veterinárias, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Marcos Neves Pereira

Coorientadora

Dra. Renata Apocalypse Nogueira Pereira

**LAVRAS - MG**

**2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Neri, Jardel.

Ambiente térmico em confinamentos de gado leiteiro no Brasil /  
Jardel Neri. – Lavras : UFLA, 2012.

77 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Marcos Neves Pereira.

Bibliografia.

1. Bovino leiteiro. 2. Confinamento. 3. Índice de temperatura e  
umidade. 4. Estresse térmico. I. Universidade Federal de Lavras. II.  
Título.

CDD – 636.20831

**JARDEL NERI**

**AMBIENTE TÉRMICO EM CONFINAMENTOS DE GADO LEITEIRO  
NO BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, área de concentração em Ciências Veterinárias, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 31 de Julho de 2012.

Dra. Renata Apocalypse Nogueira Pereira	EPAMIG
Dr. Sandro César Salvador	UFLA
Dr. Gustavo Augusto de Andrade	IF – Sul de Minas



Dr. Marcos Neves Pereira  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2012**

Aos meus pais Joaire e Terezinha; irmãos Jalbas, Janilce e Janaína e a minha  
filha Maria Fernanda;

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar a Deus pelo dom da vida e pelas oportunidades que tive.

A Universidade Federal de Lavras e ao departamento de Medicina Veterinária pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

A FAPEMIG pela bolsa de estudos.

Ao secretário e amigo Berin pelo apoio e incentivo.

Ao meu orientador, Marcos Neves Pereira, pelo exemplo de dedicação e pelos ensinamentos.

A Renata Apocalypse Nogueira Pereira por abrir as portas não só da Fazenda São Francisco, mas também de inúmeras oportunidades quando me aceitou como estagiário. Também agradeço a ela e ao Kiko pela possibilidade de morar na Fazenda durante o início do mestrado.

Aos funcionários da Fazenda São Francisco, “Cesinha”, “Carlinhos” e Daniel pelo companheirismo e amizade.

A todos os integrantes do Grupo do Leite, pois sem eles seria impossível realizar este trabalho.

Aos integrantes da minha banca, Sandro César Salvador e Gustavo Augusto de Andrade por contribuírem com a qualidade deste trabalho.

Aos meus grandes amigos Ivan Ascari Junior, Rafael Stefenon, Robson Kyoshi Ueno e Ronaldo Francisco de Lima pelo incentivo e amizade nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos Jalbas, Janilce e Janaína pelo apoio, garra, perseverança e vontade de melhorar sempre, desde a época de infância.

Aos meus sobrinhos Mateus, João Pedro e Renan, por encherem de luz a nossa família.

Aos meus pais, Joaire de Ávila Neri e Terezinha Talach Neri, pelo caráter, humildade e honestidade que possuem, mas principalmente pelo amor incondicional.

A Maria Talach Kosak (Tia Maria) “*in memoriam*” pelo carinho e contribuição na minha formação pessoal

A Beatriz Ferreira Carvalho por estar do meu lado nos momentos difíceis e por me presentear com um anjo chamado Maria Fernanda.

A minha filha Maria Fernanda, que hoje é o motivo das minhas lutas.

Enfim, muito obrigado a todos que contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

O estresse térmico pode afetar negativamente a produtividade e longevidade de vacas leiteiras. O objetivo deste experimento foi avaliar a temperatura corporal de vacas e novilhas holandês, e o ambiente em estábulos leiteiros adotando equipamentos para controle ambiental no Brasil. A temperatura e umidade do ar dos estábulos foi mensurada a intervalos de 30 min por data loggers (EasyLog<sup>®</sup>) em: Verão 1 (18/01/11 a 23/03/11), Inverno (25/06/11 a 27/08/11), e Verão 2 (18/01/12 a 16/02/12). No Verão 1, os dados foram coletados no *tie stall* de vacas em lactação e no *free stall* de novilhas da Fazenda São Francisco, em Ijaci, MG. No Inverno, os dados foram do *tie stall* da mesma fazenda. No Verão 2, os dados foram do *tie stall* da Fazenda São Francisco, de dois *free stall* de vacas em lactação da Fazenda Agrindus, em Descalvado, SP e de dois *free stall* de vacas em lactação da Fazenda Frankana, em Carambeí, PR. No Verão 1, foi avaliada a temperatura vaginal de 24 vacas em lactação ( $24,9 \pm 7,1$  kg de leite/d) no *tie stall* e de 18 novilhas ( $475 \pm 55$  kg) no *free stall* da Fazenda São Francisco por sensores intravaginais (i-button<sup>®</sup>). No Inverno, foi mensurada a temperatura vaginal de 28 vacas ( $30,5 \pm 0,3$  kg de leite/d). Houve perfil cúbico de variação circadiana na temperatura, umidade e Índice de Temperatura e Umidade (THI) dos estábulos. No período da tarde, de máxima temperatura e THI, ocorreu menores valores de umidade. Os valores máximos de THI foram observados entre 15:27h e 16:00h. Na Fazenda São Francisco, a ocorrência de THI acima de 68 foi ao redor de 80% do tempo no verão, e ao redor de 30% do tempo no inverno. No Verão 2, os estábulos tiveram THI maior que 68 por 66 a 78% do tempo. O coeficiente de correlação linear entre a média diária de temperatura do ar e o THI foi sempre positivo e maior que 0,97. Dias de THI baixo tiveram alta umidade, induzido pela ocorrência de chuvas. O relacionamento entre THI e umidade também foi negativo ao longo do dia. No Verão 2, o THI 68 foi observado quando a temperatura do ar estava entre 20,0 e 20,6 °C, de ocorrência entre 04:56h e 08:30h. No Inverno da Fazenda São Francisco, o THI 68 foi observado quando a temperatura do ar foi 22 °C, às 12:37h. As temperaturas vaginais tiveram variação ao longo do dia semelhante à variação na temperatura do estábulo, o valor máximo foi observado ao redor das 18:00h. As novilhas abrigadas em *free stall* sem ventiladores e aspersores tiveram maior temperatura vaginal que as vacas em lactação. Temperaturas vaginais ao redor de 39 °C foram observadas em vacas e novilhas no Verão 1, mas isto não foi observado nas vacas no Inverno. A temperatura superficial das vacas, mensurada com uma câmera termográfica, não teve alta correlação com a temperatura vaginal. A ocorrência de THI acima de 68 sugere que houve propensão a estresse calórico em todos os estábulos.

Palavras-chave: Bovinos. Estresse térmico. Índice de temperatura e umidade. Instalações. Temperatura corporal.

#### ABSTRACT

Heat stress may negatively affect productivity and longevity of dairy cows. The objective of this experiment was to evaluate the body temperature of Holstein cows and heifers, and the environment of dairy barns adopting equipment for environmental control in Brazil. The air temperature and humidity of the barns were recorded at 30 min intervals with data loggers (EasyLog<sup>®</sup>) in: Summer 1 (01/18/11 to 03/23/11), Winter (06/25/11 to 08/27/11), and Summer 2 (01/18/12 to 02/16/12). In Summer 1, data was collected from the lactating cow *tie stall*, from the heifer *free stall* of the São Francisco Farm, in Ijaci, MG. In Winter, data was from the *tie stall* of the same farm. In Summer 2, data was from the *tie stall* of the São Francisco Farm, from two lactating cow *free stalls* of the Agrindus Farm, in Descalvado, SP, and from two lactating cow *free stalls* of the Frankana Farm, in Carambeí, PR. In Summer 1, the vaginal temperature was evaluated in 24 lactating cows (24.9±7.1 kg of milk/d) in the *tie stall* and in 18 heifers (475±55 kg) in the *free stall* of the São Francisco Farm with intra-vaginal sensors (i-button<sup>®</sup>). In Winter, the vaginal temperature was measured in 28 cows (30.5±0.3 kg of milk/d). There was a cubic circadian variation in temperature, humidity and THI of the barns. In the afternoon, of maximum temperature and THI, occurred the lowest humidity values. Maximum THI values were observed between 15:27h and 16:00h. In the São Francisco Farm, the occurrence of THI above 68 was around 80% of the time in summer, and around 30% of the time in winter. In Summer 2, the barns had THI above 68 for 66 to 78% of the time. The linear correlation coefficient between the mean daily air temperature and THI was always positive and greater than 0.97. Days of low THI had high humidity, induced by the occurrence of rain. The relationship between THI and humidity was also negative along the hours of the day. In Summer 2, a THI 68 was observed when air temperature was between 20.0 and 20.6 °C, of occurrence between 04:56h and 08:30h. In winter of the São Francisco Farm, a THI 68 was observed when air temperature was 22 °C, at 12:37h. Vaginal temperatures had variation along the day similar to the variation in barn temperature, the maximum value was observed around 18:00h. The heifers housed in the free stall without fans and sprinklers had greater vaginal temperature than the lactating cows. Vaginal temperatures around 39 °C were observed in cows and heifers in Summer 1, but it was not observed in cows in Winter. The surface temperature of the cows, measured with a thermographic camera, did not have a high correlation with the vaginal temperature. The occurrence of THI above 68 suggests a propensity for heat stress in all barns.

Keywords: Body temperature. Bovine. Housing. Temperature-Humidity Index. Heat stress.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Variação de temperatura ao longo do dia no mês de julho de cidades de quatro estados dos EUA .....	33
Figura 2	Termômetros (i-buttons®) acoplados ao dispositivo intravaginal (CIDR®).....	37
Figura 3	Instalação do tipo <i>tie stall</i> da Fazenda São Francisco, em Ijaci, MG .....	39
Figura 4	Instalação do tipo <i>free stall</i> para confinamento de novilhas da Fazenda São Francisco, em Ijaci, MG.....	40
Figura 5	Sala de ordenha da Fazenda São Francisco, em Ijaci, MG.....	41
Figura 6	Instalações do tipo <i>free stall</i> na Fazenda Agrindus, em Descalvado, SP.....	42
Figura 7	Instalações do tipo <i>free stall</i> na Fazenda Frankana, em Caranbeí, PR.....	44
Figura 8	Temperatura do ar (°C) nos currais estudados (...continua...) .....	50
Figura 9	Umidade relativa do ar (%) nos currais estudados (...continua...) .....	51
Figura 10	Índice de temperatura e umidade (THI) nos currais estudados (...continua...) .....	53
Figura 11	Tempo de Índice de Temperatura e Umidade (THI) na fazenda São Francisco acima de 72 (A) ou de 68 (B) nos Verões 1 e 2 e no inverno.....	57
Figura 12	Proporção do dia com Índice de Temperatura e Umidade (THI) acima de 72 (A) ou 68 (B) na Fazenda São Francisco, na Fazenda Agrindus e nos currais da Fazenda Frankana durante o Verão 2 .....	59

Figura 13	Influência da pluviosidade nas variáveis ambientais da Fazenda São Francisco durante o Verão 1 .....	62
Figura 14	Temperaturas vaginal e ambiental por cinco dias de vacas leiteiras no Verão 1 ( <b>A</b> ) e no Inverno ( <b>B</b> ) e de novilhas no Verão 1 ( <b>C</b> ) na Fazenda São Francisco .....	67
Figura 15	Fotografia termográfica de uma vaca leiteira antes da ordenha da tarde e do <i>tie stall</i> ao fundo .....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Equações para cálculo do Índice de Temperatura e Umidade (THI).....	17
Tabela 2	Correlações entre variáveis ambientais e temperatura retal de vacas leiteiras submetidas a estresse calórico .....	19
Tabela 3	Ambientes no Verão 1 no <i>tie stall</i> , no <i>free stall</i> e na sala de ordenha e no Inverno no <i>tie stall</i> da Fazenda São Francisco.....	46
Tabela 4	Ambientes no Verão 2 no <i>tie stall</i> da Fazenda São Francisco, nos <i>free stall</i> da Fazenda Agrindus e nos <i>free stall</i> 2 e 3 e no 4 e 5 da Fazenda Frankana.....	47
Tabela 5	Ambientes no <i>tie stall</i> da Fazenda São Francisco (SF) nos Verões 1 e 2 e no Inverno, e nos <i>free stall</i> da Fazenda Agrindus (AG) e nos <i>free stall</i> 2 e 3 e no 4 e 5 da Fazenda Frankana (FK) no Verão 2 .....	56
Tabela 6	Coefficientes de correlação linear entre o Índice de Temperatura e Umidade (THI) médio do dia e variáveis ambientais no <i>tie stall</i> da Fazenda São Francisco (SF) nos Verões 1 e 2 e no Inverno, e nos <i>free stall</i> da Fazenda Agrindus (AG) e nos <i>free stall</i> 2 e 3 e no 4 e 5 da Fazenda Frankana (FK) no Verão 2.....	61
Tabela 7	Coefficientes de correlação linear entre o Índice de Temperatura e Umidade (THI) ao longo do dia e variáveis ambientais no <i>tie stall</i> da Fazenda São Francisco (SF) nos Verões 1 e 2 e no Inverno, e nos <i>free stall</i> da Fazenda Agrindus (AG) e nos <i>free stall</i> 2 e 3 e no 4 e 5 da Fazenda Frankana (FK) no Verão 2 .....	63

Tabela 8	Hora ascendente e descendente <sup>1</sup> para obtenção de Índice de Temperatura e Umidade (THI) 68 ou 72, e temperatura do ar (°C) nestes horários, no <i>tie stall</i> da Fazenda São Francisco (SF) nos Verões 1 e 2 e no Inverno, e nos <i>free stall</i> da Fazenda Agrindus (AG) e nos <i>free stall</i> 2 e 3 e no 4 e 5 da Fazenda Frankana (FK) no Verão 2 .....	64
Tabela 9	Temperatura vaginal de vacas em lactação e novilhas durante o Verão 1 e vacas em lactação durante o Inverno na Fazenda São Francisco. ....	66
Tabela 10	Coefficientes de correlação linear entre a temperatura vaginal e a temperatura mensurada simultaneamente por fotografia termográfica dos lados esquerdo (E) e direito (D) de 24 vacas Holandês.....	68

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Índice de temperatura e umidade (THI)</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Zona termo neutra para vacas em lactação</b> .....	20
<b>2.3</b>	<b>Estresse térmico e mecanismos de dissipação de calor</b> .....	21
<b>2.4</b>	<b>Resposta ao estresse térmico</b> .....	23
<b>2.5</b>	<b>Estresse térmico e desempenho de vacas em lactação</b> .....	24
<b>2.6</b>	<b>Estresse térmico e metabolismo</b> .....	27
<b>2.7</b>	<b>Variação de temperatura em regiões leiteiras durante o verão</b> .....	32
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	35
<b>3.1</b>	<b>Coleta de dados</b> .....	35
<b>3.2</b>	<b>Descrição das instalações</b> .....	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	45
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	70
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	71

## 1 INTRODUÇÃO

O estresse térmico pode afetar negativamente a produtividade e a longevidade de vacas leiteiras, especialmente daquelas com alta capacidade produtiva (KADZERE et al., 2002). Mesmo com os avanços nos sistemas de resfriamento de ambientes, o estresse térmico induz anualmente perda financeira à indústria leiteira (SAINT PIERRE; COBANOV; SCHNITKEY, 2003), sendo um problema mesmo nas zonas de clima temperado do planeta (LEGRAND; KEYSERLINGK; WEARY, 2009). Os fatores que determinam a perda econômica pelo calor excessivo incluem decréscimo na produção de leite, aumento de doenças e problemas metabólicos, menor crescimento de novilhas, comprometimento da qualidade do leite e redução no desempenho reprodutivo (COLLIER et al., 1982; WEST, 1999). O calor nos meses de verão também reduz a produção de leite e a eficiência reprodutiva nos rebanhos brasileiros utilizando vacas de alta produção em sistemas confinados (PEREIRA; CORREA, 2001). O aumento inevitável no potencial genético de produção de leite por vaca, o que requer aumento na ingestão de matéria seca e induz aumento na necessidade de dissipar calor oriundo do metabolismo ruminal e pós-absortivo (PURWANTO et al., 1990), projeta que a propensão de vacas leiteiras a acúmulo de calor corporal será um fator cada vez mais desafiador para a pecuária leiteira.

O estresse calórico, induzido por um conjunto de variáveis ambientais, resulta em queda na produção de vacas leiteiras, induzida pela queda no consumo e por mudanças no metabolismo animal (BAUMGARD; RHOADS, 2012). A relação entre temperatura ambiente e umidade, denominado Índice de Temperatura e Umidade (THI), tem sido difundida entre pesquisadores como indicador de estresse térmico (THOM, 1958). A temperatura corporal pode ser um indicador de estresse por excesso de calor, pois sua variação entre animais é

relativamente pequena em um dado ambiente. Segundo McDowell, Hooven e Camoens (1976), o aumento de 1°C na temperatura retal é suficiente para reduzir o desempenho zootécnico em várias espécies de animais.

No Brasil, país onde a maioria das grandes fazendas leiteiras se localiza na região tropical central (Top100 MilkPoint 2012), o clima é caracterizado por verão com períodos de alta temperatura e precipitação. Apesar desta realidade, não existem estudos quantificando o ambiente em nossos rebanhos leiteiros confinados, a opção de sistema de produção de leite prevalente dentre os maiores produtores de leite do país (Top100 MilkPoint 2012). Compreender o padrão de variação ao longo do dia nas variáveis ambientais (HONIG et al., 2012; LEGRAND; KEYSERLINGK; WEARY, 2009; ORTIZ et al., 2011; SMITH et al., 2006) é importante para que medidas de controle ambiental sejam implementadas da maneira mais eficiente e efetiva.

O objetivo do autor com este trabalho foi relatar a variação na temperatura de vacas e novilhas holandesas, e a umidade, a temperatura e o THI em confinamentos brasileiros de gado leiteiro adotando tecnologia para resfriamento do ambiente. As fazendas, localizadas nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná, foram escolhidas para representar produtores tecnificados de regiões tradicionalmente produtoras de leite do país.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Índice de temperatura e umidade (THI)

O estresse calórico é causado por uma combinação de fatores ambientais, como a temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do ar e precipitação são os principais (BOHMANOVA; MISZTAL; COLE, 2007). O THI, valor que combina esses fatores, foi criado por Thom (1958) e usado por Berry, Shanklin e Johnson (1964) para vacas. Conceitualmente, é difícil afirmar que o THI é a medida mais adequada para mensuração do estresse térmico em bovinos leiteiros. No entanto, essa variável tem sido utilizada amplamente para estimar o grau de estresse calórico em gado de leite e corte (BOHMANOVA; MISZTAL; COLE, 2007; CORREA-CALDERON et al., 2004; IGONO et al., 1985; IGONO; JOHNSON, 1990; MADER et al., 2006; MORTON et al., 2007; RAVAGNOLO; MISZTAL, 2000; SAINT PIERRE; COBANOV; SCHNITKEY, 2003; WEST, 2003).

Para a estimativa de THI, várias equações têm sido propostas, sendo a principal variação entre elas, o peso dado à variável temperatura ou umidade (Tabela 1). Os estudos de estresse calórico, com base no THI, devem ser analisados com cautela e a deve ser considerado o tipo de clima, se seco ou úmido, e fórmula do THI utilizada (DIKMEN; HANSEN, 2009).

Bohmanova, Misztal e Cole (2007) realizaram um estudo testando sete fórmulas para calcular THI em duas regiões dos EUA, com o objetivo de avaliar qual delas explica melhor o efeito do ambiente sobre a produção de leite. Uma das regiões era caracterizada por um clima quente e seco (Arizona) e a outra por clima quente e úmido (Geórgia). Os autores concluíram que no caso da Geórgia as fórmulas em que a umidade tinha maior peso no valor do THI explicaram melhor a variação na produção de leite, diferentemente do Arizona, em que as

fórmulas que melhor se ajustaram a produção de leite foram aquelas onde o THI foi ditado principalmente pela temperatura. Cabe ressaltar que o comportamento de todas as fórmulas, em ambas as regiões, seguiu a mesma tendência durante os doze meses de estudo.

Tabela 1 Equações para cálculo do Índice de Temperatura e Umidade (THI)

<b>EQUAÇÕES</b>	<b>FONTE</b>
$THI = 0,4 \times T_{db} + T_{db} \times T_{wb} \times 1,8 + 32 + 15$	Thom (1959)
$THI = (0,15 \times T_{db} + 0,85 \times T_{wb}) \times 1,8 + 32$	Bianca (1962)
$THI = 0,35 \times T_{db} + 0,65 \times T_{wb} \times 1,8 + 32$	Bianca (1962)
$THI = (1,8 \times T_{db} + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times UR) \times (1,8 \times T_{db} - 26,8)]$	NRC (1971)
$THI = (0,55 \times T_{db} + 0,2 \times T_{dp} \times 1,8 + 32 + 17,5)$	NRC (1971)
$THI = (T_{db} + T_{wb}) \times 0,72 + 40,6$	NRC (1971)
$THI = T_{db} + 0,36 \times T_{dp} + 41,2$	Yousef (1985)
$THI = (0,8 \times T_{db}) + [UR/100 \times T_{db} - 14,4] + 46,4$	Mader et al. (2006)

Fonte: Dikmen e Hansen (2009).

$T_{db}^1$  = temperatura de bulbo seco,  $UR^2$  = umidade relativa do ar,  $T_{dp}^3$  = temperatura de orvalho,  $T_{wd}^4$  = temperatura de bulbo úmido

Trabalho semelhante foi conduzido por Dikmen e Hansen (2009), onde adicionalmente a oito fórmulas de THI testadas, os autores avaliaram outras variáveis ambientais como possíveis indicadores de aumento na temperatura retal de vacas lactantes (Tabela 2). O estudo foi conduzido no centro norte da Flórida entre os meses de agosto e dezembro. A temperatura retal de 1280 animais foi mensurada uma vez ao dia entre 15 h e 17 h, sendo que os dados do ambiente utilizados na análise foram obtidos no momento em que a temperatura retal foi medida. Como resultado, os pesquisadores encontraram correlação

positiva e alta entre todas as fórmulas de THI (>0,93), e também entre THI e temperatura de bulbo seco (>0,84). Correlação negativa foi identificada entre o THI e a umidade relativa do ar em todas as fórmulas estudadas, sugerindo que momentos de alta umidade, provavelmente relacionados à ocorrência de maior pluviosidade, foram relacionados à melhora no conforto térmico. O maior coeficiente de determinação entre as fórmulas de THI estudadas e temperatura retal foi de ( $r=0,65$ ), porém os autores adicionaram ao valor de THI um número com variáveis do animal determinado como modelo base. Já a temperatura do ar apresenta coeficiente de determinação razoável com a temperatura retal (Tabela 2), sendo adequada para determinar ambiente de estresse por excesso de calor.

Berry, Shanklin e Johnson (1964) propuseram o valor de THI de 72 como sendo o limite entre a zona termo neutra e ambiente de estresse térmico. Porém este limiar foi baseado em estudos a equação de THI de Thom (1959) e com vacas do início da década de 60, produzindo em média 15 kg/d. Considerando o calor a ser dissipado por vacas em lactação é oriunda do incremento calórico, determinado pela ingestão de matéria seca (PURWANTO et al., 1990), Berman (2005) inferiu que para vacas mais produtivas o THI limite entre a zona de conforto e o estresse pode ser mais baixo que o proposto por Berry, Shanklin e Johnson (1964). Segundo esse autor, com a produção de leite aumentando de 35 para 45 kg/d, a temperatura do ar necessária para que o animal entre em estresse térmico diminui em 5 °C.

Seguindo esta linha, pesquisadores do Arizona (ZIMBELMAN et al., 2009), baseados em dados de oito experimentos ao longo de três anos, utilizando 100 vacas multíparas em lactação, com média de produção de 35 kg/d, concluíram que THI acima de 68 pode trazer efeitos negativos sobre a produção de leite. Os autores observaram que em THI acima de 68 por período maior que 17 h/d, a perda na produção diária de leite pode chegar a 2,2 kg. O THI foi

correlacionado à temperatura retal ( $r=0,51$ ) e à produção de leite ( $r= -0,12$ ). O aumento na temperatura retal também foi acompanhado de aumento na frequência respiratória ( $r=0,75$ ) e na perda evaporativa de calor pela pele ( $r=0,24$ ) e queda na produção diária de leite ( $r= -0,22$ ). A baixa correlação encontrada entre produção de leite e THI não foi enfatizada pelos autores, porém West, Mullinix e Bernard (2003) sugeriram que o reflexo do estresse térmico no CMS e produção de leite dos animais ocorrem de dois a quatro dias após os mesmos terem sofrido cargas de calor exageradas. Igono, Bjotvedt e Sanfordcrane (1992) relataram que apesar de altas temperaturas durante o dia, um período de temperaturas amenas, de 3 a 6 h abaixo de  $21^{\circ}\text{C}$ , pode diminuir o efeito do calor na produção pelo aumento no CMS no período noturno. Outro ponto importante a ser considerado é que o CMS determina a quantidade de nutrientes disponíveis para manutenção e produção de leite, e sua ingestão voluntária é determinada por muitos fatores (NRC, 2001).

Tabela 2 Correlações entre variáveis ambientais e temperatura retal de vacas leiteiras submetidas a estresse calórico

Variáveis ambientais	Correlação (r)
Temperatura de bulbo seco	0,53
Temperatura de bulbo úmido	0,42
Temperatura de ponto de orvalho	0,22
Umidade relativa do ar	-0,32
Velocidade do vento	-0,02

Fonte: Dikmen e Hansen (2009)

Ravagnolo, Misztal e Hoogenboom (2000), analisando dados de produção de leite de 24.943 vacas, em 251 rebanhos da Geórgia, observaram queda de 0,2 kg/d para cada unidade de THI acima de 72. Já Ravagnolo e Misztal (2002) avaliaram o efeito do THI sobre a produção de leite em 120

fazendas do norte e sul da Geórgia e encontraram semelhança na perda de produção de leite nas duas regiões, aproximadamente 0,27 kg/d por unidade de THI acima de um limiar. Porém, o limiar diferiu entre as regiões, sendo THI 72 para a região norte e THI 76 para a região sul, sugerindo uma melhor adaptação dos animais da região sul à ambientes de estresse térmico. Outra hipótese levantada pelos autores é o fato de as fazendas do sul investir mais no controle do ambiente por meio do uso de ventiladores e aspersores. Estes dados sugerem que tecnologia para controle ambiental pode compensar a ocorrência de alto THI.

## **2.2 Zona termo neutra para vacas em lactação**

Animais homeotérmicos têm zona de temperatura ótima para produção quando nenhuma energia adicional, além da manutenção, é gasta para resfriar ou aquecer o corpo. Não existe um intervalo de temperatura fixa considerada como zona termo neutra para todas as situações. A zona termo neutra depende da genética e da produção dos animais (NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 1981). Berman et al. (1985), trabalhando com vacas com média de 30 kg/dia, concluíram que elas mantem a temperatura corporal estável até uma temperatura ambiente de 25 °C. Exceto para bezerros recém nascidos, a média de temperatura estimada para a máxima eficiência na utilização energética em vacas leiteiras é tradicionalmente relatada com sendo entre 13 e 18 °C (NRC, 1981). Mcdowell (1972) propôs que mudanças significativas na ingestão de alimento ou em processos fisiológicos ocorrem quando a temperatura ambiente foge do intervalo que varia de 5 a 25 °C. Temperaturas acima de 25 °C ou abaixo de 5 °C podem afetar o consumo de alimentos, no entanto deve-se ter cautela na proposta desse autor. O intervalo de temperatura ótimo para produção máxima de uma vaca depende de sua produção, da dieta fornecida, da umidade

relativa do ar, comprimento da pelagem e produção diária de leite (NRC, 1981). A ingestão de alimentos também é mais afetada pelo ambiente em vacas em início da lactação que naquelas em estágio avançado da lactação (MCDOWELL; HOOVEN; CAMOENS, 1976).

Pouco é conhecido sobre a relação entre a pelagem e o consumo e a exigência de manutenção em vacas leiteiras. Porém, estimativas indicam que o maior crescimento do pêlo durante o inverno e presença de pêlo mais curto no verão, ou mesmo a alteração na posição dos pêlos de plana para ereta, pode aumentar em até cinco vezes a taxa de dissipação de calor (MCDOWELL; HOOVEN; CAMOENS, 1976). O umedecimento do pêlo através da chuva, aspersores ou neve, velocidade do vento maior que 6 km/h, umidade relativa menor que 30% ou maior que 80% e exposição direta a radiação solar, também afetam a taxa de troca de calor, diminuindo as temperaturas do limiar de conforto térmico (NRC, 1981).

### **2.3 Estresse térmico e mecanismos de dissipação de calor**

A temperatura interna de animais homeotérmicos, a exemplo de vacas lactantes, se mantém relativamente constante graças ao balanço que existe entre produção e perda de calor, sendo que o sucesso desta relação depende dos mecanismos de dissipação de calor. Fatores que aumentam o calor acima da taxa metabólica basal incluem exercícios ou tremores, tensão imperceptível dos músculos, aumento químico da taxa metabólica, incremento calórico e febre (KADZERE et al., 2002). Perdas de calor no animal ocorrem através do suor, respiração, aumento da circulação periférica (vaso dilatação), aumento na perda de água, aumento da superfície radiante e aumento no movimento de ar ou convecção.

A dissipação de calor muda de radiação e convecção, como principais mecanismos de troca em ambientes de temperaturas amenas, para evaporação em ambientes de alta temperatura. A perda de calor pela pele depende parcialmente do gradiente de temperatura entre pele do animal, ar e objetos sólidos. Porém, as perdas de calor de forma não-evaporativa decrescem em ambientes com temperatura acima da zona termo neutra, fazendo com que vacas dependam mais do vaso dilatação periférica e evaporação de água para perder calor e prevenir um aumento significativo na temperatura corporal (BERMAN et al., 1985). Entretanto, é improvável que a vaso dilatação periférica seja o principal método de aumento na dissipação de calor para o ambiente em vacas devido à grande massa corporal destes animais. Berman et al. (1985) relataram que a taxa máxima de evaporação de água em vacas leiteiras foi de 1,5 kg/hora, que se traduz em 4,3 kJ/dia. Esta taxa de perda de calor é próxima a produção de calor de uma vaca seca, vazia com 600 kg de peso vivo, mas é apenas cerca da metade do calor gerado por um animal produzindo 30 kg/leite/dia. Isto pode explicar a baixa sensibilidade de vacas secas em ambientes de alta temperatura. A importância da água como um meio para livrar o corpo do excesso de calor através do suor e respiração aumenta consideravelmente com aumento na temperatura ambiente (RICHARDS, 1985).

Em bovinos submetidos a estresse térmicos, aproximadamente 15% do calor endógeno é perdido diretamente pelo núcleo do corpo via trato respiratório (MCDOWELL; HOOVEN; CAMOENS, 1976). O restante do calor metabólico pode ser transferido para a pele, onde é dissipado por meio de formas não evaporativas por radiação, convecção e condução, ou evaporativamente pelo suor.

## 2.4 Resposta ao estresse térmico

Processos vitais de homeotermos, incluindo vacas em lactação, são adaptados para ótima função em ambiente termo neutro. Mudança nas condições de ambiente, iguais as que ocorrem no estresse térmico geram um desbalanço metabólico uma vez que a temperatura esta acima da temperatura crítica limite (KADZERE et al., 2002). Em vacas, com o aumento na produção de leite, aumenta a produção de calor com o metabolismo de grande quantidade de nutrientes, o que torna a vaca de alta produção mais vulnerável a ambientes com temperatura e umidade elevados quando comparados a animais de menor atividade metabólica (BRODY, 1945). Vacas de alta produção são mais afetadas do que animais de menor desempenho porque a zona termo neutra muda para baixo a medida que o animal aumenta a ingestão e matéria seca e produção de calor (COPPOCK et al., 1982). Assumindo que os mecanismos de dissipação de calor para ambos os tipos de vacas são similares, o contínuo melhoramento genético sugere que a produção de leite deve aumentar e o mesmo acontecerá com os efeitos deletérios do estresse térmico na vaca moderna (KADZERE et al., 2002). O estresse calórico aumenta a perda de fluidos corporais devido ao suor e ofegação. Se este continuar sem controle, a perda de fluidos pode alcançar um nível crítico, tornando-se uma ameaça a termo regulação e a função cardiovascular (SILANIKOVE, 1994).

Uma resposta homeostática geral dos mamíferos ao estresse térmico inclui redução na perda de água por meio das fezes e urina, queda na ingestão de alimentos e produção, aumento na transpiração bem como aumento na frequência cardíaca e respiratória. Estes mecanismos podem abrandar os efeitos do estresse calórico, por meio de processos físicos, bioquímicos e fisiológicos

para tentar neutralizar os efeitos negativos do estresse térmico. Muitos destes ajustes feitos pelo animal podem envolver a dissipação de calor para o ambiente e redução na produção de calor metabólico (KADZERE et al., 2002).

## **2.5 Estresse térmico e desempenho de vacas em lactação**

Estresse térmico reduz marcadamente ingestão de matéria seca e produção de leite. É aceito que a queda no consumo de matéria seca (CMS) precede a queda na produção de leite, sendo esse o principal fator na diminuição da síntese láctea pela glândula mamária (BEEDE; COLLIER, 1986; FUQUAY, 1981; WEST, 2003). Jonhson et al. (1963) observaram que a produção de leite e consumo de matéria seca exibiram um declínio significativo em ambiente de estresse calórico (THI = 77). Fuquay (1981) em uma revisão de literatura de vinte anos inferiu que a queda na ingestão de matéria seca foi identificada como a maior causa na redução da produção do leite na maioria dos estudos. Resultado semelhante foi encontrado por Morrinson (1983) que ao compilar trabalhos com vacas em lactação observou queda no CMS e produção de leite quando a temperatura do ar ultrapassou 25 °C.

Igono, Bjotvedt e Sanfordcrane (1992) avaliaram o efeito da variação ambiental na produção de leite de 4.616 vacas alocadas em duas fazendas na região da cidade de Phoenix no estado do Arizona – USA. O estudo foi conduzido entre março de 1989 e abril de 1990. Para ambas as fazendas, apesar das diferenças no manejo de resfriamento dos animais, a maior produção de leite ocorreu durante os períodos ótimos, de zona termo neutra, caracterizados por temperaturas de bulbos secos menores que 21 °C durante 24 horas.

West, Mullinix e Bernard (2003) avaliaram os efeitos do calor e umidade sobre ingestão de matéria seca e produção de leite em animais lactantes separados em dois períodos determinados como quente e frio. Os autores

encontraram pequeno efeito das condições climáticas no desempenho das vacas durante o período frio, resultado oposto ao visualizado no período de calor (THI mínimo = 72,1). Os efeitos das condições climáticas ficaram evidentes no desempenho dos animais quando medidos dois dias antes da mensuração de CMS e produção de leite. A lógica da resposta não ser imediata é o tempo requerido para a vaca consumir, digerir e metabolizar os nutrientes. Entretanto, uma carga de calor pode afetar diretamente a produção de leite por mecanismos desconhecidos que são independentes do CMS (RHOADS et al., 2009).

Wayman et al. (1962) já tinham percebido a necessidade de estudos que avaliassem outros fatores responsáveis pela queda na produção, além do consumo de matéria seca. Para o experimento os autores utilizaram seis vacas em lactação, após pico de produção, separadas em dois grupos num delineamento do tipo switch-back. O trabalho foi realizado em três períodos de seis semanas, sendo cada período dividido em temperatura baixa (65° F) e temperatura alta (85° F), com umidade constante de aproximadamente 50%. Animais fistulados foram utilizados para promover ingestão forçada da dieta durante a fase de estresse calórico dos períodos. Observou-se que mesmo com o consumo de matéria seca parecido, vacas em estresse térmico tiveram produção 10% menor quando comparadas com animais na zona termo neutra de temperatura. Os autores suspeitaram que o maior gasto energético para perda de calor corporal foi o responsável pela queda na produção de leite.

Settivari et al. (2007) estudaram a relação de status térmico e produtividade de vacas lactantes em estresse calórico recebendo ou não hormônio de crescimento (GH) exógeno na forma de somatotropina recombinante bovina (bST). O experimento foi realizado em quatro períodos denominados de zona termo neutra, estresse térmico cíclico, estresse térmico constante e novamente um período de zona termo neutra. Estresse calórico reduziu ( $P < 0,01$ ) a produção de leite das vacas do tratamento controle (sem

bST) e também reduziu ( $P<0,05$ ) a produção dos animais que receberam o hormônio, porém a queda no leite dos animais aplicados com GH exógeno foram menores (0,2 kg vs 3,9 kg) que o tratamento controle durante os quatro períodos do experimento. Também se observou queda significativa ( $P<0,01$ ) na ingestão de matéria seca quando os períodos de estresse foram confrontados com o primeiro período de zona termo neutra.

Shwartz et al. (2009), trabalhando com vinte e três vacas multíparas em lactação observaram uma queda no CMS de 29% no período de estresse térmico quando comparado ao período de zona termo neutra. A produção de leite também foi afetada com uma queda de 33% no período de estresse. Wheelock et al. (2010) encontraram maior queda na produção de leite nos animais em ambiente de estresse calórico, quando comparados com animais do mesmo bloco sob restrição alimentar, 9,56 kg/leite (27,6%) e 4,79 kg/leite (13,9%) respectivamente. Os autores também observaram uma queda progressiva no CMS de 30% ou 6,15 kg de matéria seca. Pode - se observar que vacas em estresse calórico têm uma queda duas vezes maior na produção de leite em relação aos animais com restrição alimentar, sugerindo que a queda na ingestão de matéria seca explica apenas uma parte, aproximadamente 50%, da menor síntese de leite.

Recentemente, Rhoads et al. (2009), trabalhando com vinte vacas multíparas lactantes em ambiente com clima controlado, observaram um decréscimo médio no CMS de 7,45 kg/dia, quando o THI passou de 64 para períodos cíclicos variando entre 73 e 82 (mimetizando períodos quentes em ambiente de fazenda). O experimento foi composto por dois tratamentos: o primeiro com um grupo de vacas submetido ao estresse térmico e livre acesso à dieta; o segundo com um grupo que permaneceu em ambiente de zona termo neutra (THI = 64), porém foi submetido à restrição alimentar com objetivo de igualar o CMS nos dois tratamentos. O grupo de vacas no tratamento com

estresse calórico teve produção diária de leite 7,5 kg menor que os animais com restrição alimentar. Assim, o nível de estresse térmico imposto as vacas foi associado com o íngreme declínio na produção de leite acima do que pode ser predito baseado na ingestão de matéria seca. Os pesquisadores concluíram que a redução na ingestão de nutrientes induzida pelo estresse térmico pode responder por aproximadamente 35% de decréscimo na produção de leite.

## **2.6 Estresse térmico e metabolismo**

A síntese e secreção do leite são processos complexos governados por diversos hormônios sensíveis tanto a fatores fisiológicos como ambientais. (RHOADS et al., 2009). Um desses hormônios é a prolactina, hormônio o qual a importância na lactação da fêmea bovina não é clara, porém a inibição de sua secreção por meio do CB154 (alcaloide sintético do ergot) ocasionou queda de 80% na sua concentração plasmática, reduzindo a produção de leite em vacas no início da lactação (AKERS et al., 1981). Entretanto, estudos mostram um efeito lactogênico da prolactina aliado a leptina sobre a glândula mamária bovina (FEUERMAN; MABJEESH; SHAMAY, 2004).

McMurtry e Malven (1974), em estudos iniciais encontraram efeito da temperatura ambiente na concentração de prolactina no leite. O trabalho foi realizado no rebanho da Universidade de Purdue, EUA, onde foram feitas análises de prolactina em 1.078 amostras de leite oriundas de 135 animais. Pode-se observar aumento na concentração do hormônio no leite quando a temperatura ambiente foi elevada.

Igono et al. (1988) avaliaram o efeito da estação do ano na concentração de prolactina (PRL) no leite. O estudo foi realizado na Universidade de Missouri-Columbia, EUA, e contou com aproximadamente 165 vacas holandesas em lactação, separadas em três grupos de acordo com a produção. A

prolactina no leite teve sua concentração afetada pela sazonalidade. Observou-se um padrão semelhante na variação da prolactina e THI durante o ano, onde o hormônio alcançou níveis máximos durante os meses de julho e agosto, período em que o THI atingiu seu platô. Este resultado está de acordo com Smith et al. (1977), que quando aumentou a temperatura ambiente de 4 °C para 40 °C encontraram altos níveis séricos de PRL durante a temperatura elevada, sendo associada ao aumento na taxa de secreção do hormônio e redução na taxa de “clearance” metabólico. Estes resultados foram confirmados por Settivari et al. (2007) que observaram um aumento significativo da PRL durante os períodos de estresse calórico.

Somatotropina, ou GH, é um hormônio proteico sintetizado pela glândula pituitária anterior e sua secreção é regulada por dois peptídeos, o fator liberador do hormônio do crescimento e a somatostatina. A somatotropina é um controlador homeorrético, que regula a utilização dos nutrientes absorvidos através de diversos processos fisiológicos em diferentes tecidos, através de efeitos diretos ou indiretos, provavelmente mediados por somatomedinas somatotropinas – dependentes (fatores de crescimento ligados a insulina, IGF-I e IGF-II). As principais células alvo do hormônio do crescimento são os adipócitos e hepatócitos (BAUMAN; VERNON, 1993).

Durante circunstâncias em que a economia metabólica favorece o catabolismo, a produção de IGF-I ST hepato - dependente é reduzida, e esta desacoplada pode ser vantajoso, como durante o início da lactação quando uma substancial mobilização das reservas corporais é necessária para suprir a demanda da lactação (BAUMAN; CURRIE, 1980). O mesmo pode ser verdade para animais em estresse térmico, mas com objetivos diferentes, como desacoplar o eixo para reduzir a utilização dos nutrientes pela glândula mamária, favorecendo o uso de nutrientes pelos tecidos periféricos, para combater uma carga térmica ao invés de apoiar os processos anabólicos (RHOADS et al.,

2009). Não foram observadas diferenças na concentração de somatotropina relacionadas ao estresse térmico.

Igono et al. (1988) encontraram como resultado uma relação inversa com THI, ou seja, as concentrações de GH no leite foram menores nos meses de julho e agosto. Os autores hipotetizaram que uma queda no GH pode ser uma tentativa do animal reduzir produção de calor endógeno, baseados em uma tendência de vacas tratadas com GH aumentarem a produção de calor em ambiente de estresse térmico (MOHAMMED; JOHNSON, 1985). Resultados semelhantes foram obtidos por Johnson e Vanjonack (1976) que visualizaram uma menor concentração sérica de GH durante o verão.

Manalu et al. (1991) observaram aumento na perda evaporativa de calor quando vacas em lactação foram tratadas com somatotropina exógena (bST). Segundo os autores o hormônio ajudou a dissipar o aumento da carga de calor associado com a maior produção de leite com o aumento na capacidade de suor. Considerando este fato, Settivari et al. (2007) conduziram um experimento com o objetivo de avaliar o desempenho de vacas em situação de estresse térmico (ambiente controlado) recebendo bST. Os autores observaram que não houve diferença ( $P=0,85$ ) na concentração de GH durante os períodos avaliados.

Rhoads et al. (2009) observaram que modestos níveis de subnutrição não afetam as concentrações de IGF-I circulante no plasma de vacas leiteiras, entretanto animais submetidos a estresse térmico tiveram leve redução na concentração plasmática de IGF-I, forte indício de que o metabólito não favoreceu o acoplamento do eixo ST-IGF durante o estresse térmico. As concentrações de GH no plasma não foram diferentes entre animais sob estresse térmico e animais do tratamento controle, assim os autores sugerem que o estresse calórico pode reduzir a resposta hepática ao GH em termos de produção de IGF-I.

A habilidade do GH em ativar uma família de proteínas conhecidas como STAT (Transdutor de Sinal e Ativador de Transcrição) tem sido extensivamente estudada (HERRINGTON et al., 2000). Ao se ligar ao seu receptor, GH ativa predominantemente o STAT5, que leva a homo e heterodimerização de moléculas STAT e, eventualmente, sua translocação para o núcleo (RHOADS et al., 2010). Uma vez no núcleo, moléculas STAT iniciam transcrição ligando uma sequência  $\gamma$ -interferon-ativado (STAT5a e 5b) ou interferon-estimulado elemento de resposta (STAT1 e 3) (IMADA; LEONARD, 2000). Em particular, STAT5 é requerido para sinalização de um efeito positivo do GH na transcrição hepática de IGF-I (DAVEY et al., 2001).

Assim, Rhoads et al. (2010) desenvolveram uma pesquisa com objetivo de determinar se o estresse térmico prejudica a capacidade de resposta do fígado ao GH em vacas lactantes. Isso foi medido pela avaliação da quantidade de receptores de GH (GHR) e ativação da STAT5 após uma aplicação em bolus desse hormônio. Os autores encontraram que estresse calórico decresceu ( $P < 0,05$ ) a quantidade de receptores de GH em amostras de fígado retiradas antes da aplicação de bST. Tanto estresse calórico quando moderados níveis de subnutrição não alteraram a quantidade do STAT5, entretanto, estresse calórico decresceu ( $P < 0,05$ ) e subnutrição tendeu a decrescer ( $P < 0,08$ ) STAT5 fosforilase. Consistente com a queda na quantidade de GHR, a expressão hepática do gene GHR1A reduziu aproximadamente 33% ( $P < 0,05$ ). Também foi observado queda na quantidade do GHR mRNA nos animais submetidos a estresse térmico ( $P < 0,05$ ). Os autores suspeitaram que a redução proximal do GH, sinalizada através da STAT5 foi associada com a redução da quantidade basal do IGF-I mRNA hepático, pois a expressão hepática do gene IGF-I decresceu aproximadamente 25% ( $P < 0,05$ ) em vacas estressadas termicamente. Também foi observada uma tendência ( $P = 0,14$ ) na redução da expressão do gene, aproximadamente 18%, em vacas moderadamente subnutridas.

Recentemente, Rhoads et al. (2011) também encontraram aumento ( $P < 0,01$ ) na quantidade do gene IGF-I mRNA em animais tratados com bST em condições de estresse térmico, porém este aumento foi menor quando comparado à animais mantidos sob condições de termo neutralidade e consumo de MS semelhante as vacas que estavam sob estresse.

Outra alteração metabólica importante em vacas de lactação submetidas a estresse por calor é o fato que estes animais têm capacidade reduzida de mobilizar gordura, acentuando o balanço energético negativo (RHOADS et al., 2009; SHWARTZ et al., 2009). Os autores analisaram que animais em estresse calórico tiveram menor ( $P < 0,01$ ) concentração plasmática de NEFA quando comparadas com vacas de semelhante CMS, porém na zona termo neutra de temperatura. Fato interessante, pois estresse calórico, seja ele agudo ou crônico, aumenta as concentrações de cortisol, epinefrina e noraepinefrina (BEEDE; COLLIER, 1986), hormônios estes que sabidamente resultam em lipólise e aumento da mobilização adiposa (RHOADS et al., 2009). Os pesquisadores suspeitam que um aumento da reesterificação de ácidos graxos voláteis nos adipócitos bem como um aumento na ação da insulina pode explicar a pobre mobilização adiposa basal, porque a insulina é um potente inibidor lipolítico (VERNON, 1992).

Settivari et al. (2007), trabalhando com períodos cíclico e contínuo de estresse térmico, encontraram aumento sérico de NEFA apenas em vacas lactantes recebendo bST quando comparado com animais não aplicados, ao contrário de Itoh et al. (1998) que observaram aumento na concentração plasmática de NEFA quando vacas em lactação foram submetidas a temperaturas superiores a 28 °C, mesmo com aumento ( $P < 0,01$ ) na concentração sérica de insulina. Já Sano et al. (1983), em experimento com ovelhas em lactação encontrou queda ( $P < 0,05$ ) na concentração de NEFA quando a temperatura ambiente passou de 20 °C para 30 °C.

Wheelock et al. (2010) encontraram aumento na concentração sérica de insulina em vacas lactantes submetidas a ambiente de estresse térmico, resultando em decréscimo na mobilização de lipídios e aparentemente aumento no uso de glicose por tecidos periféricos. Consequentemente, os mecanismos normais de reserva de glicose empregados por animais em zona termo neutra de temperatura, para maximizar produção durante períodos de restrição de nutrientes, podem não estar envolvidos em vacas com hipertermia.

## **2.7 Variação de temperatura em regiões leiteiras durante o verão**

O NRC (1981) demonstrou a variação de temperatura ao longo do dia em quatro bacias leiteiras tradicionais dos EUA durante o mês de julho (Figura 1), período onde as temperaturas são elevadas. Cada estado onde a pesquisa foi realizada era caracterizado por um tipo de clima. O estudo foi conduzido em San Juan (Clima tropical), New Ibéria (Clima subtropical), Phoenix (Clima semi-árido) e Ithaca (Clima temperado). As temperaturas ao longo do dia apresentaram um perfil circadiano de variação, onde as temperaturas máximas foram observadas entre 12 h e 15 h, e as temperaturas mínimas entre 5 h e 7 h.

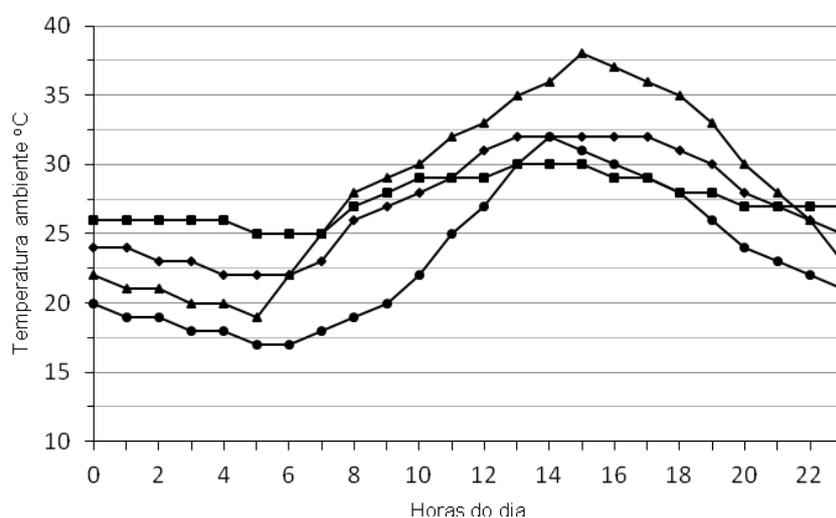


Figura 1 Variação de temperatura ao longo do dia no mês de julho de cidades de quatro estados dos EUA

Nota: (■) San Juan, Puerto Rico; (◆) New Iberia, Louisiana; (●) Phoenix, Arizona; (▲) Ithaca, New York representando climas tropical, sub tropical, semiárido e temperado respectivamente (NRC, 1981).

Ao compilar dados de temperatura ao longo do dia entre 1971 e 1986, Igono, Bjotvedt e Sanfordcrane (1992) encontraram resultados parecidos aos descritos no NRC (1981). Eles encontraram padrão circadiano na variação de temperatura diária do Arizona, EUA. As temperaturas máximas foram observadas entre 14 h e 18 h. Collier, Dahl e Vanbaale (2006) em estudo conduzido em Phoenix, Arizona, EUA, observaram as máximas temperaturas ao longo do dia entre as 12 h e 18 h no período de 25 a 28 de agosto de 2004, enquanto as temperaturas mínimas ocorreram por volta das 7 h.

Smith et al. (2006) observaram variação circadiana na temperatura ao longo do dia em estudo conduzido no norte do Mississippi, EUA. A temperatura máxima dentro do *free-stall* foi próxima as 18 h sendo a mínima visualizada ao redor das 07 h. O curral possuía sistema de refrigeração com ventiladores e

aspersores. No mesmo estudo os autores avaliaram a variação de temperatura em um estábulo composto por Túnel Evaporativo de Ventilação Facilitada e puderam observar melhora considerável no ambiente com este sistema. A temperatura máxima obtida ao longo do dia foi próxima a 24 °C no curral com túnel, contra 29 °C no *free-stall* composto apenas por ventiladores e aspersores. No sistema de túnel evaporativo a temperatura de 24 °C foi alcançada aproximadamente 08 h e se manteve relativamente constante até as 22 h. O padrão de variação abaixo desta temperatura foi muito semelhante entre os dois currais. Ortiz et al. (2011) trabalharam testando o efeito de diferentes tempos de funcionamento do sistema de arrefecimento na temperatura retal de vacas lactantes. O experimento foi conduzido em um rebanho comercial da Arábia Saudita, onde os currais eram compostos por sistemas evaporativos de refrigeração por aparelhos denominados KK (Korral Koll, modelo KK1). A temperatura ambiente apresentou variação circadiana com valores máximos de temperatura alcançando 45 °C por volta das 14 h e mínima de 17 °C próximo as 6 h. Os autores não mediram a temperatura nos currais, sendo impossível determinar a influência do sistema nas variáveis ambientais dentro dos currais.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Coleta de dados

Os dados de ambiente foram coletados nos seguintes períodos: Verão 1, entre 18/01/2011 e 23/03/2011. Inverno, entre 25/06/2011 e 27/08/2011. Verão 2, entre 18/01/2012 e 16/02/2012. No Verão 1, os dados foram coletados no *tie stall* de vacas em lactação, no *free stall* de novilhas e na sala de ordenha da Fazenda São Francisco, em Ijaci, MG (832 m altitude, 21:10:13 de latitude sul, 44:55:31 longitude oeste). No Inverno, foram obtidos dados no *tie stall* da mesma fazenda. No Verão 2, os dados foram coletados no *tie stall* da Fazenda São Francisco, nos *free stall* de vacas em lactação da Fazenda Agrindus, em Descalvado, SP (639m altitude, 21:55:52 de latitude sul, 36:36:45 de longitude oeste) e nos *free stall* de vacas em lactação da Fazenda Frankana, em Carambeí, PR (1115m altitude, 24:55:45 de latitude sul, 50:05:35 de longitude oeste).

A temperatura e umidade das instalações foi mensurada a cada 30min por termômetro digital (EasyLog<sup>®</sup>. Lascar Electronics Inc., Erie, EUA) para cálculo do Índice de Temperatura e Umidade (THI). Os termômetros foram colocados no centro de cada galpão a três metros do piso. A fórmula de THI utilizada foi a de Yousef (1985), onde  $THI = T + 0,36 \times DP + 41,2$ . Onde: T é a temperatura expressa em graus Celsius e DP é a temperatura de orvalho (Dew Point), também expressa em graus Celsius.

No Verão 1 na fazenda São Francisco também foi avaliada a temperatura vaginal das vacas em lactação no *tie stall* e das novilhas no *free stall*. A temperatura vaginal foi mensurada utilizando sensores intravaginais (i-button<sup>®</sup>. Maxim Integrated Products, Sunnyvale, EUA), acoplados a um dispositivo intravaginal (CIDR<sup>®</sup>. Pfizer Animal Health, New York, EUA), sem

hormônio (Figura 1). As mensurações foram realizadas a cada 30 min do dia com graduação de 0,125 °C. O período de coleta foi de 12/04/2011 a 16/04/2011 para as vacas e 08/03/2011 a 12/03/2011 para as novilhas, totalizando 245 pontos amostrados por animal. Durante o Inverno o período de coleta da temperatura vaginal das vacas foi de 23/08/2011 a 27/08/2011, totalizando 245 pontos amostrados por animal.

Para mensuração da temperatura vaginal no Verão 1 foram utilizadas 24 vacas Holandês, nove primíparas e quinze múltíparas, com  $328 \pm 124$  dias em lactação e produção de leite de  $24,9 \pm 7,1$  kg/d. Também foi mensurada a temperatura vaginal de 18 novilhas Holandês com  $475 \pm 55$  kg de peso vivo. No Inverno foi mensurado a temperaturas vaginal de 28 vacas do tipo Holandês, com  $100 \pm 71$  dias em lactação e produção de leite de  $30,5 \pm 0,3$  kg/d.

No Verão 1, simultaneamente à mensuração da temperatura vaginal, os lados de todas as vacas foram fotografados com câmera termográfica Fluke<sup>®</sup>, modelo i55, com lente de 20 mm (Danaher Corporation, Everett, EUA). As fotos foram obtidas entre 15 h e 56 min. e 17h e 01min., quando da ida dos animais do *tie stall* para a sala de ordenha. A temperatura vaginal mais próxima ao momento da foto foi correlacionada às temperaturas da superfície corporal mensurada termograficamente. As temperaturas corporais superficiais em média, mínima e máxima dos lados esquerdo e direito foram obtidas pelo programa Fluke SmartView<sup>®</sup>, versão 3.0 (Danaher Corporation, Everett, EUA).



Figura 2 Termômetros (i-buttons®) acoplados ao dispositivo intravaginal (CIDR®)

### 3.2 Descrição das instalações

No *tie stall* da Fazenda São Francisco, 42 vacas Holandês eram alojadas em camas de areia sob um telhado de zinco de 11,6 m de largura com lanternim aberto tipo *shade* americano, 41,5% de inclinação, 31,5 m de comprimento, e pé direito de 4 m. Os ventiladores (CIRELLI® Modelo suspenso/50, motor de 0,5cv

de potência, 480 rpm, Descalvado, SP) eram dispostos sobre as camas, com espaçamento de 6 metros e fixados a 2,6 m do piso. Os aspersores eram dispostos na linha de cocho, com espaçamento de 90 cm e fixados a 1,95 m do piso. A vazão dos aspersores era de 70 mL/min sendo os ciclos de aspersão de um minuto e quatro minutos de repouso. Sistema de alta pressão, com bomba JACTO® (modelo 6200, motor de 1 cv, vazão máxima de 5 L/min, Pompéia, SP) No Verão 1, os sistemas de ventilação e aspersão foram acionados em média por  $7\pm 3,2$  h/d e  $5\pm 4$  h/d, respectivamente. No Verão 2, o sistema foi acionado diariamente entre 10 h e 22 h. Durante o inverno os ventiladores eram acionados das 10 h às 22 h. Já os aspersores eram acionados 10 h às 18 h.



Figura 3 Instalação do tipo *tie stall* da Fazenda São Francisco, em Ijaci, MG

O *free stall* das novilhas com capacidade para 47 animais jovens (de bezerras após a desmama até novilhas até 21 dias antes do parto previsto) alojados em camas de areia, tinha telhado de aluzinco de 14,5 m de largura, lanternim aberto, tipo *shade* americano, 16% de inclinação, 27 m de comprimento e pé direito de 3,4 m (Figura 2). Nesse estábulo não existia a presença de aspersores e ventiladores.

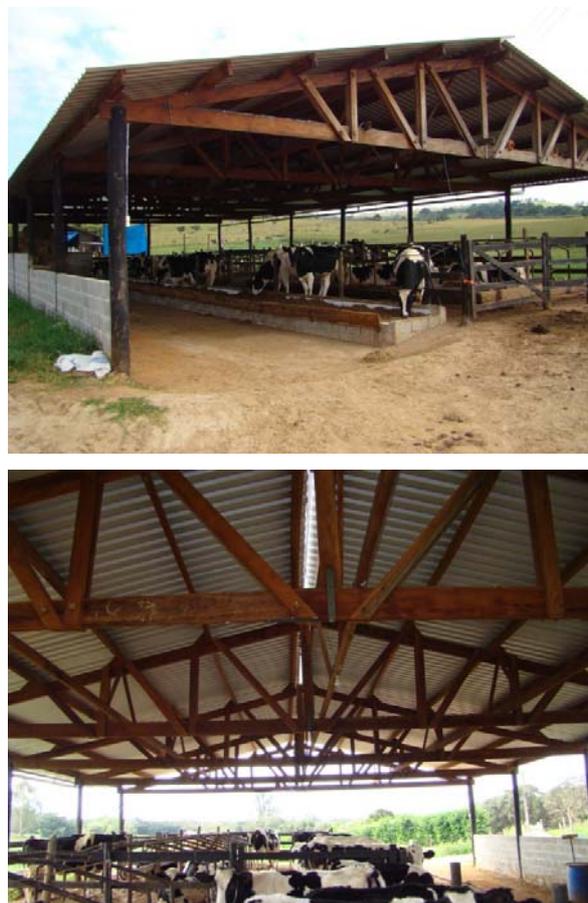


Figura 4 Instalação do tipo *free stall* para confinamento de novilhas da Fazenda São Francisco, em Ijaci, MG

A sala de ordenha da Fazenda São Francisco era uma estrutura sem paredes que alojava um sistema de ordenha do tipo espinha de peixe duplo 3 (Figura 5). As dimensões do telhado de zinco eram 7,5 m de largura, 8,15 m de comprimento e pé direito de 3,46 m.



Figura 5 Sala de ordenha da Fazenda São Francisco, em Ijaci, MG

Na Fazenda Agrindus, dois *free stall* foram avaliados, sendo que no mais moderno (Lote 5 e 6) a inclinação do telhado era maior (48% vs 40%) que no mais antigo (Lotes 3 e 4) (Figura 4). O curral dos lotes 3 e 4 tinham capacidade para 252 vacas, já os currais dos lotes 5 e 6 alojavam 300 animais. Possuíam telhado com 30 m de largura, 105 m de comprimento no curral 5 e 6 e 90 m de comprimento no curral 4 e 5 e pé direito de 5,2 m. Possuíam camas de areia, telhado de metal e sistema de refrigeração composto por ventiladores e aspersores. Os ventiladores (CASP<sup>®</sup>, 790 rpm, Amparo, SP) eram dispostos sobre as camas e cocho dos animais, com espaçamento de 10 m e fixados a 2,7 m do piso. Os aspersores eram dispostos na linha de cochos, com espaçamento de 2 m e a 2 m do piso. A vazão dos aspersores de baixa pressão era de aproximadamente 2,5 L/min, sendo que cada ciclo era formado por um minuto de aspersão e quatro de repouso. O sistema de ventilação era acionado toda vez que a temperatura ambiente alcançava 16 °C, já os aspersores funcionam quando a temperatura ambiente atingia 21°C.



Figura 6 Instalações do tipo free stall na Fazenda Agrindus, em Descalvado, SP

Os dois *free stall* avaliados na Fazenda Frankana tinham capacidade para 160 vacas nos currais 2 e 3 e 200 nos currais 4 e 5. Durante a coleta de dados, as primíparas dos currais 2 e 3 produziram  $42,8 \pm 6,9$  kg/d. Nos currais 4 e 5, abrigando vacas com dois ou mais partos, a produção por vacas foi  $50,2 \pm 28,7$  kg/d no curral 4 e  $28,7 \pm 10$  kg/d no curral 5. Os currais diferiam levemente na inclinação, altura do pé-direito e tipo de lanternim dos telhados, os currais 2 e 3 eram menos inclinados que currais 4 e 5 (22% vs. 25%) (Figura 7). Os currais 2 e 3 possuíam telhas de amianto (6 mm) e lanternim aberto, com 26m de largura, 50 m de comprimento e pé direito de 3 m. Os currais 4 e 5 possuíam telhas ecológicas refratárias (6 mm) e lanternim coberto, com 30,5 m de largura, 75 m de comprimento e pé direito de 4 m. Ambos possuíam camas de borracha com cobertura de serragem. Os ventiladores (CASP® modelo VA 92 PLUS com motor de 0,5 cv, Amparo, SP) eram dispostos sobre as camas e sobre o cocho, com espaçamento de 7 m e fixados a 2,2 m do piso. Os arpersores de baixa pressão eram dispostos na linha de cochos, com espaçamento de 1,7 m e fixados a 1,8 m do piso. A vazão dos aspersores era de aproximadamente 1,7 L/min, sendo que cada ciclo era formado por um minuto de aspersão e quatro minutos de repouso. Os ventiladores das camas eram acionados toda vez que a temperatura ambiente alcançava 17 °C e os ventiladores do cocho quando a temperatura chegava as 20 °C. Os aspersores eram acionados quando a temperatura ambiente atingia 22 °C.



Figura 7 Instalações do tipo free stall na Fazenda Frankana, em Caranbeí, PR

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Fazenda São Francisco, onde três instalações foram monitoradas no Verão 1, o *free stall* alojando os animais jovens teve ambiente ligeiramente mais ameno que o *tie stall* e a sala de ordenha (Tabela 3). Entretanto, os coeficientes de correlação linear entre as médias diárias de temperatura, umidade e THI na sala de ordenha, *free stall* e *tie stall* desta fazenda foram superiores a 0,97. O efeito do clima sobre as instalações foi similar, apesar da diferença nas construções, forma e tempo diário de uso, e na categoria animal alojada.

Mesmo sem a presença de ventiladores e aspersores no *free stall* da recria, houve menor acúmulo de calor nesta instalação do que no *tie stall* abrigando número similar de vacas em lactação. Entretanto, neste *free stall* a média do tempo diário de THI acima de 68 foi 78%, e para o THI 72 foi 37%, sugerindo que o ambiente foi potencialmente indutor de estresse por calor nos dois currais (Tabela 3). O momento do dia de máximo e mínimo THI foi levemente mais tardio no *free stall* do que na sala de ordenha e no *tie stall*, mas em todos os locais o valor máximo foi observado à tarde, enquanto o valor mínimo ocorreu durante a madrugada. No Inverno e no Verão 2, o ambiente na Fazenda São Francisco foi monitorado apenas no *tie stall*, por representar o local de maior tempo de permanência diária das vacas em lactação, e por esta mensuração ter demonstrado ser suficiente para representar as características ambientais desta fazenda durante o período estudado.

Tabela 3 Ambientes no Verão 1 no *tie stall*, no *free stall* e na sala de ordenha e no Inverno no *tie stall* da Fazenda São Francisco

	Verão 1			Inverno
	Sala de ordenha	<i>Free stall</i>	<i>Tie stall</i>	<i>Tie stall</i>
<u>Temperatura</u>				
Média	24,5±2,0	23,3±1,5	24,4±1,5	18,9±2,3
7-13 h	25,1±1,9	24,1±1,5	25,8±1,8	21,0±2,8
13-19 h	29,2±3,7	27,6±3,1	28,8±3,5	25,2±2,8
19-1h	23,2±2,0	22,2±1,4	22,6±1,1	16,3±2,5
1-7 h	20,8±1,2	19,9±1,0	20,6±0,9	13,7±2,7
Máxima	31,8±3,7	29,4±2,9	31,9±3,3	28,5±3,1
Mínima	19,9±0,9	18,9±1,1	19,3±1,1	11,4±2,7
<u>Umidade</u>				
Média	74,5±9,1	78,5±7,8	78,5±7,4	71,8±7,4
7-13 h	73,5±8,1	77,2±7,1	75,5±7,2	69,4±8,7
13-19 h	59,3±15,3	62,9±14,8	62,0±15,3	50,5±11,5
19-1h	78,0±9,8	82,3±7,9	84,2±6,8	78,5±7,6
1-7 h	86,0±5,6	90,3±3,8	91,2±3,1	87,7±4,1
Máxima	89,0±3,8	93,4±2,7	95,1±1,9	92,6±3,6
Mínima	51,2±14,4	55,5±13,8	52,3±13,9	41,8±11,4
<u>THI<sup>1</sup></u>				
Média	72,5±2,0	71,32±1,5	72,8±1,6	64,8±2,8
7-13 h	68,3±1,3	67,30±1,7	68,4±1,9	67,4±3,2
13-19 h	77,5±3,7	75,73±3,0	77,3±3,4	71,2±2,7
19-1h	71,1±2,0	70,12±1,5	70,8±1,2	61,9±3,2
1-7 h	68,4±1,3	67,30±1,7	68,4±1,9	59,0±3,6
Máximo	80,3±3,6	77,67±2,8	80,7±3,3	74,9±3,1
Mínimo	67,5±1,2	66,41±1,5	67,1±1,5	56,2±3,5
Minutos/d>68	1243±313	1126±319	1299±187	431±252
Minutos/d>72	640±247	528±207	624±207	150±167
% do dia>68	85,2	77,7	88,4	31,7
% do dia>72	43,9	36,5	42,5	18,3
Hora do máximo	15:27	15:57	15:36	16:40
Hora do mínimo	00:00	01:34	00:10	01:35

Nota: Média±DP dos valores diários.

<sup>1</sup> THI=Índice de Temperatura e Umidade.

O coeficiente de correlação linear entre as médias diárias de temperatura, umidade e THI nos dois *free stall* da Fazenda Agrindus foi 0,99, portanto, a descrição do ambiente nesta fazenda usou a média entre os valores de

cada local (Tabela 4). Entretanto, o coeficiente de correlação nos dois currais da Fazenda Frankana não foi alto, sendo -0,44 para a média diária da umidade, -0,33 para o THI, e -0,39 para a temperatura do ar. Portanto, os ambientes nos currais da Fazenda Frankana foram descritos separadamente (Tabela 4).

Tabela 4 Ambientes no Verão 2 no *tie stall* da Fazenda São Francisco, nos *free stall* da Fazenda Agrindus e nos free stall 2 e 3 e no 4 e 5 da Fazenda Frankana

	São Francisco	Agrindus	Frankana 2 e 3	Frankana 4 e 5
<u>Temperatura</u>				
Média	23,6±1,30	23,4±1,94	22,1±2,29	23,2±2,19
7-13 h	24,3±1,40	23,4±1,97	22,1±2,33	21,4±2,11
13-19 h	28,6±2,79	27,5±2,55	25,9±2,89	27,1±2,79
19-1h	21,9±1,17	22,7±2,20	21,8±2,43	24,2±2,93
1-7 h	19,8±1,17	20,2±1,71	19,0±2,31	20,6±2,64
Máxima	31,6±2,28	29,5±2,86	27,8±2,65	28,9±3,19
Mínima	17,9±1,34	18,3±1,82	17,5±2,10	18,5±2,59
<u>Umidade</u>				
Média	80,1±6,20	76,2±11,22	77,7±8,27	74,9±7,17
7-13 h	80,1±5,85	78,2±10,64	78,7±7,70	79,3±7,51
13-19 h	62,2±12,85	62,6±13,84	64,8±13,89	64,4±11,48
19-1h	84,7±6,04	78,0±12,58	78,9±9,22	72,2±9,39
1-7 h	92,4±2,45	84,9±10,47	87,6±5,95	82,5±9,96
Máxima	96,1±1,42	91,2±8,14	91,6±4,24	87,9±10,09
Mínima	53,3±10,53	55,2±13,18	57,5±13,13	58,3±12,07
<u>THI<sup>1</sup></u>				
Média	71,8±1,37	71,2±1,92	69,7±2,61	71,0±2,63
7-13 h	72,9±1,50	71,5±1,95	69,8±2,79	68,8±2,54
13-19 h	77,1±2,68	75,5±2,35	73,8±2,82	75,3±3,53
19-1h	70,0±1,33	70,4±2,51	69,3±2,82	72,1±3,54
1-7 h	67,6±1,56	67,7±1,98	66,3±2,87	68,0±3,01
Máximo	80,5±2,27	77,9±2,73	75,7±2,63	77,4±4,36
Mínimo	65,2±1,84	66,1±1,87	64,4±2,67	65,5±3,01
Minutos/d>68	1150±218	1111±321	967±371	1102±345
Minutos/d>72	575±150	579±227	452±248	578±311
% do dia>68	78,2	76,0	65,7	75,0
% do dia>72	39,1	39,6	30,7	39,3
Hora do máximo	16:22	16:40	17:19	18:00
Hora do mínimo	02:40	03:18	04:00	05:10

Nota: Média±DP dos valores diários.

<sup>1</sup> THI=Índice de Temperatura e Umidade.

A variação circadiana na temperatura, umidade e THI das instalações foram similares, tendo perfil cúbico ao longo do dia (Figuras 8 a 10). No período da tarde, de alta temperatura e THI, ocorreram os menores valores de umidade, sendo esta mais alta no período noturno. Durante a noite, a ênfase em ventilação poderia ser priorizada à aspersão como mecanismo de resfriamento das instalações. Este padrão de variação ambiental é similar ao relatado para regiões tropicais, sub-tropicais, temperadas e semi-áridas dos Estados Unidos (NRC, 1981). O momento de máximo THI nas instalações para confinamento das vacas em lactação ocorreu entre 15:27 h e 16:00 h (Tabelas 3 e 4), semelhante ao observado por Collier, Dahl e Vanbaale (2006) e Igono, Bjotvedt e Sanfordcrane (1992) em regiões desérticas. Este fato, associado à ocorrência de alta variabilidade entre dias nos valores de temperatura e THI no período da tarde (Tabelas 3 e 4, Figuras 8 e 10), sugerem que o ambiente neste período do dia apresenta o maior potencial de atuação para obter melhora em conforto térmico para os animais.

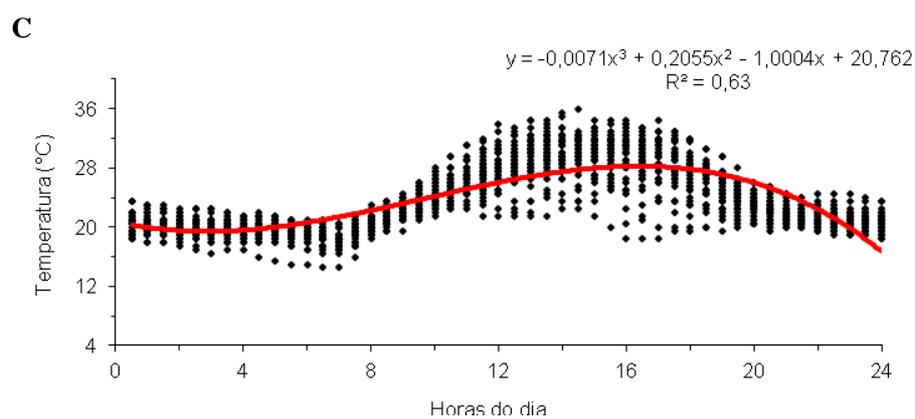
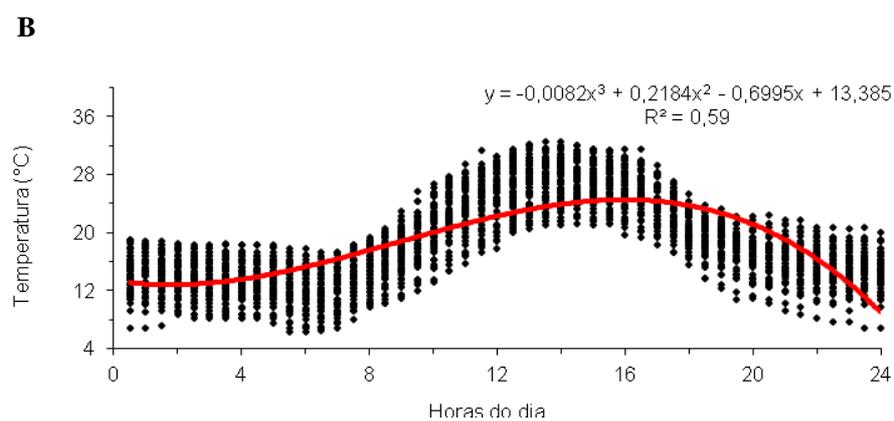
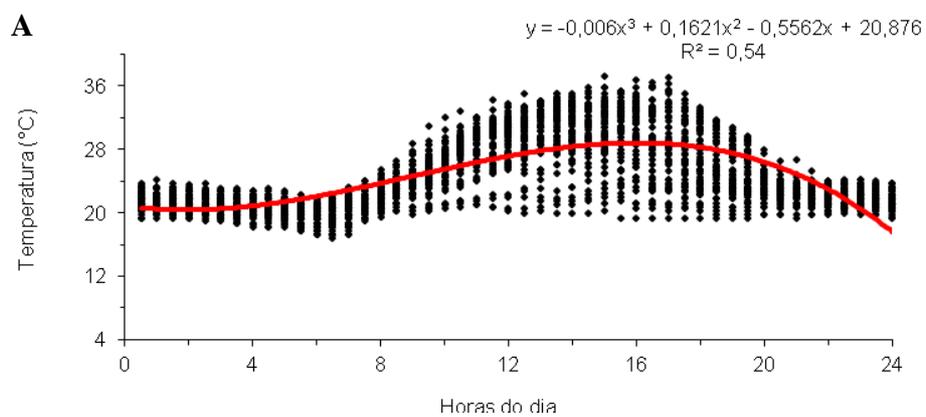
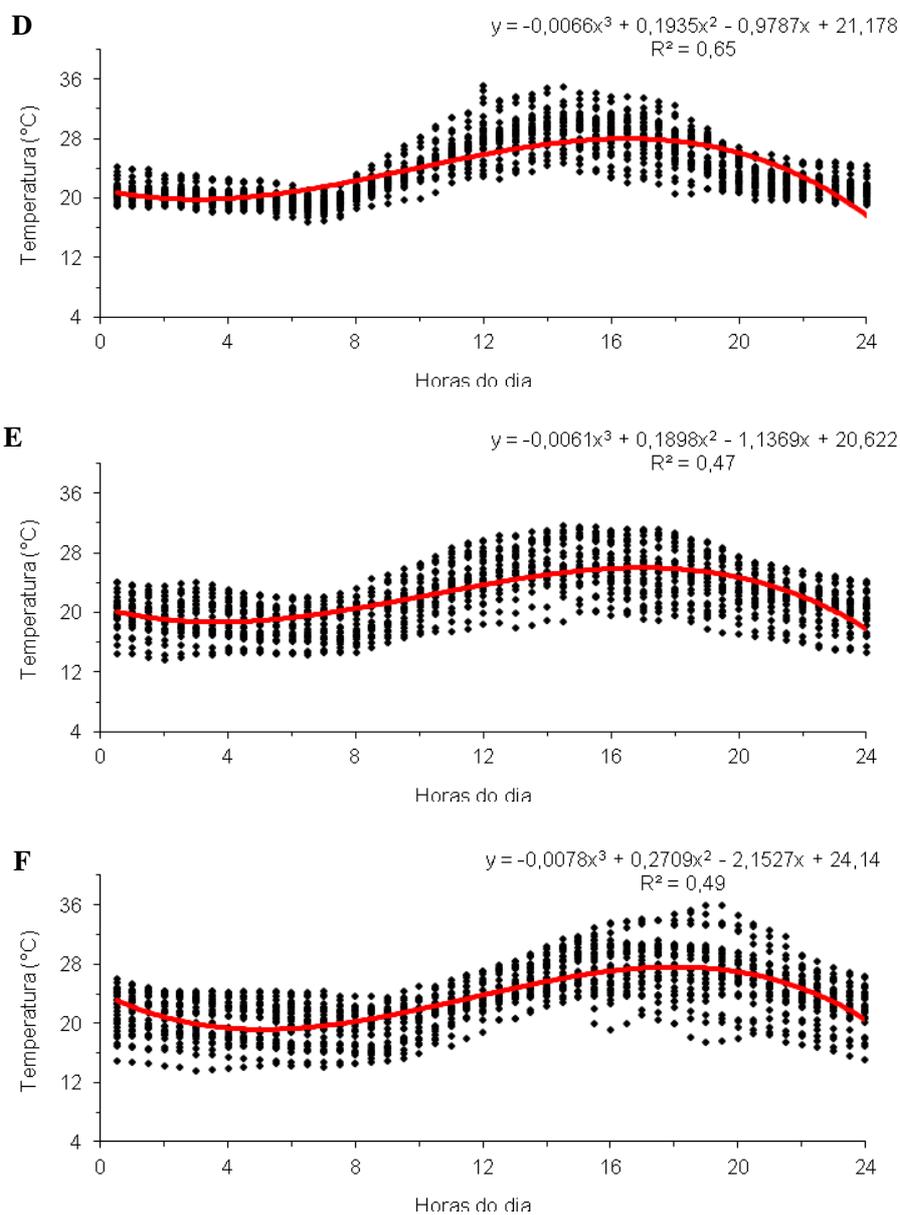


Figura 8 Temperatura do ar (°C) nos currais estudados (...continua...)



Nota: (A) *tie stall* São Francisco no Verão 1; (B) *tie stall* São Francisco no Inverno; (C) *tie stall* São Francisco no Verão 2; (D) *free stall* Agrindus no Verão 2; (E) *free stall* 2 e 3 Frankana no Verão 2; (F) *free stall* 4 e 5 Frankana no Verão 2.

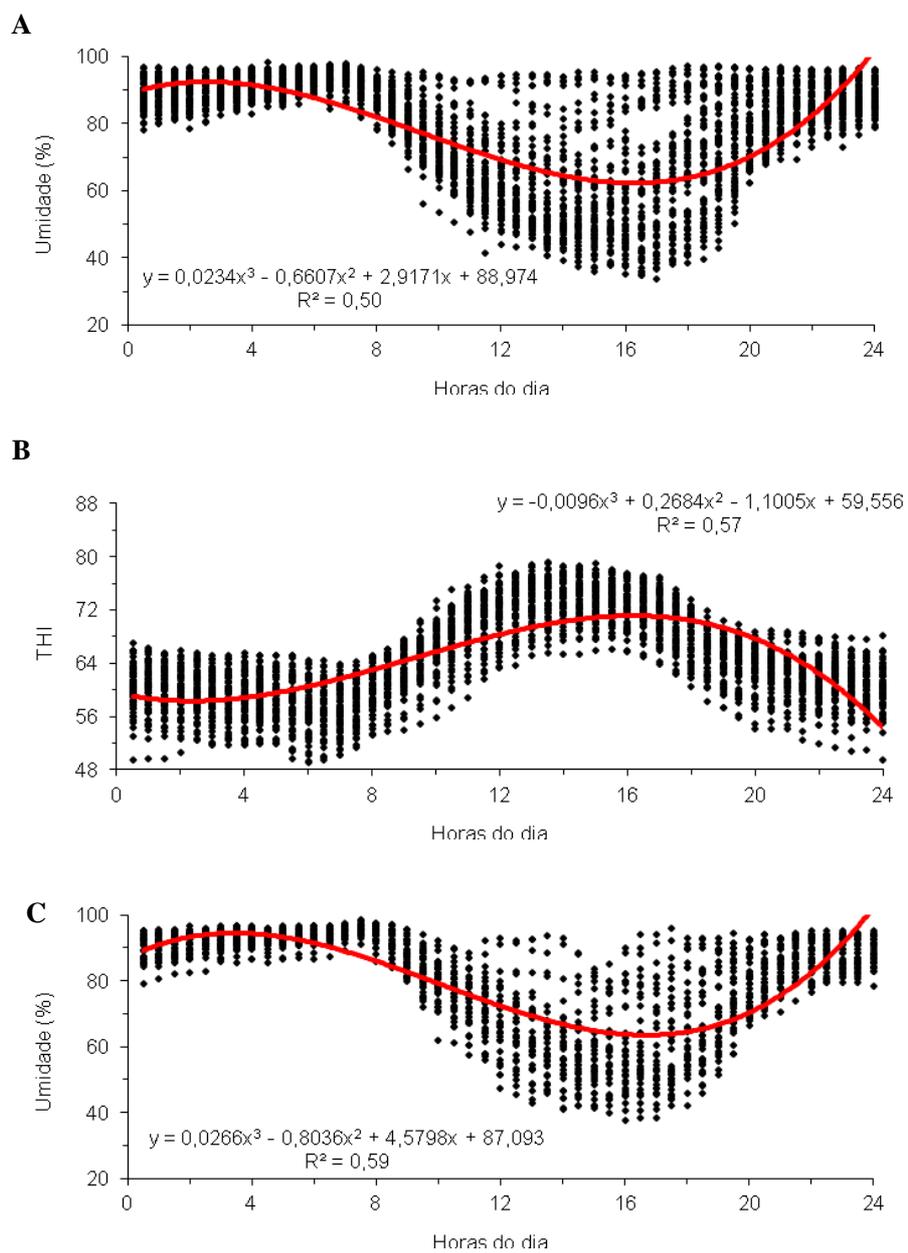
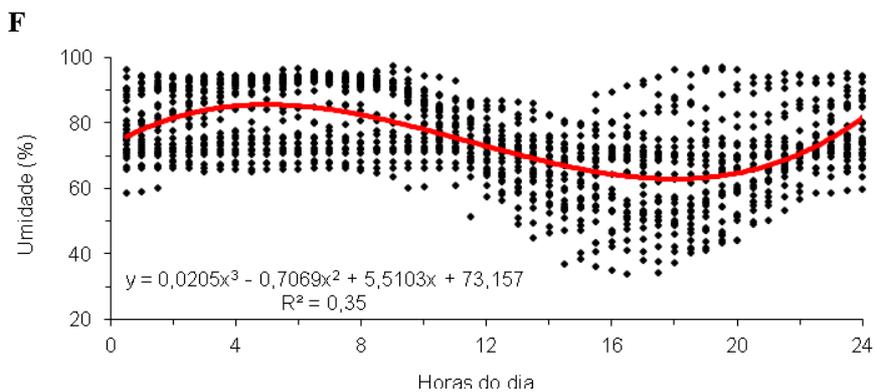
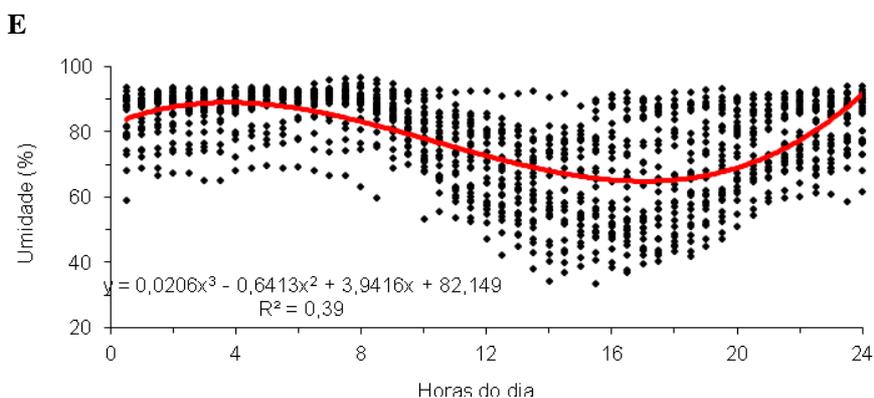
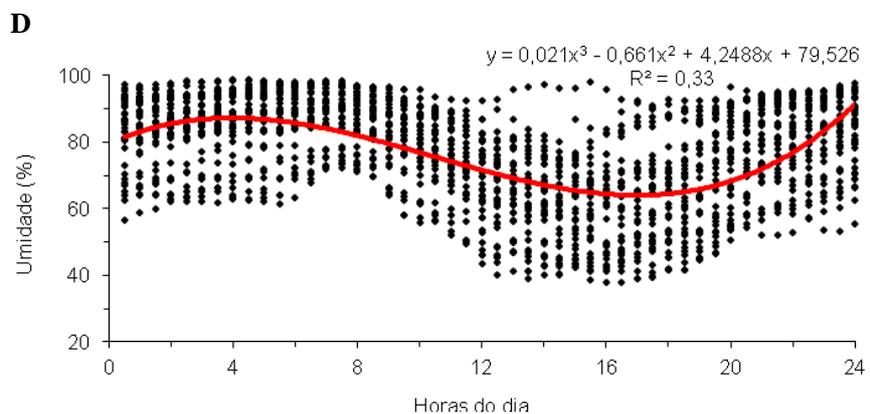


Figura 9 Umidade relativa do ar (%) nos currais estudados (...continua...)



Nota: (A) *tie stall* São Francisco no Verão 1; (B) *tie stall* São Francisco no Inverno; (C) *tie stall* São Francisco no Verão 2; (D) *free stall* Agrindus no Verão 2; (E) *free stall* 2 e 3 Frankana no Verão 2; (F) *free stall* 4 e 5 Frankana no Verão 2.

**A**

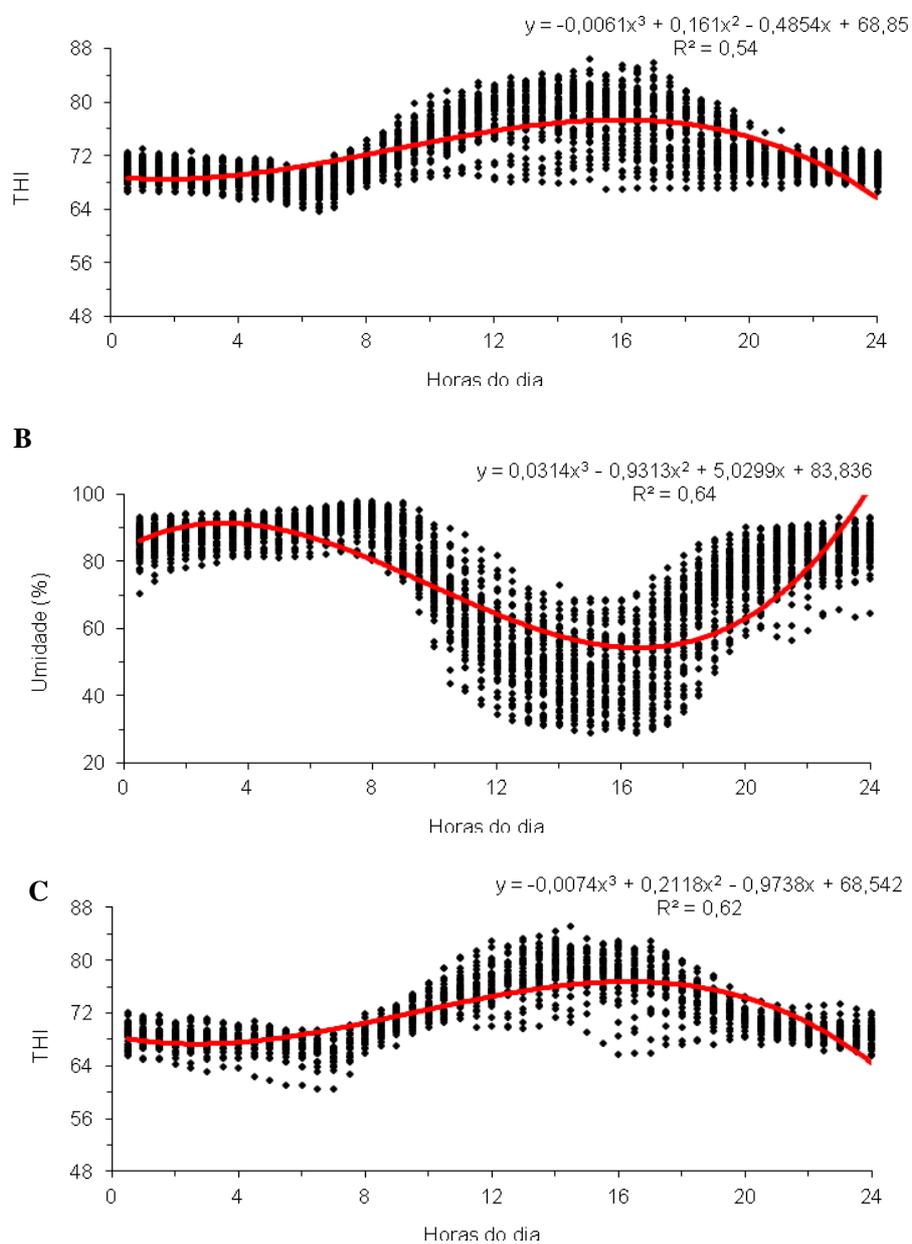
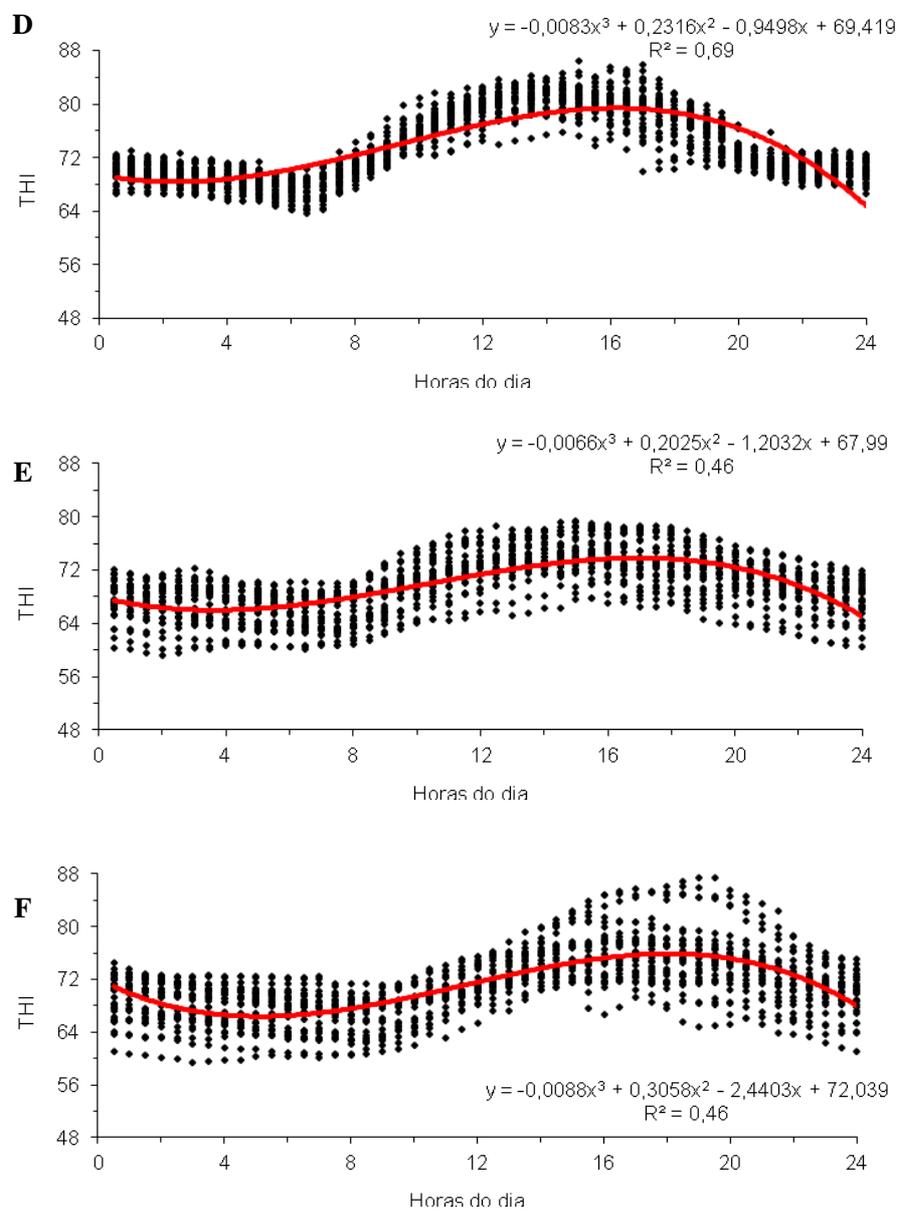


Figura 10 Índice de temperatura e umidade (THI) nos currais estudados  
 (...continua...)



Nota: (A) *tie stall* São Francisco no Verão 1; (B) *tie stall* São Francisco no Inverno; (C) *tie stall* São Francisco no Verão 2; (D) *free stall* Agrindus no Verão 2; (E) *free stall* 2 e 3 Frankana no Verão 2; (F) *free stall* 4 e 5 Frankana no Verão 2.

A avaliação dos dados ambientais obtidos a cada 30 minutos do dia (Tabela 5) retrata características do período estudado levemente distintas da média dos valores diários (Tabelas 3 e 4), apesar da interpretação do efeito de local e época do ano ser similar. Ao comparar os parâmetros ambientais da Fazenda São Francisco nos Verões 1 e 2 aos do Inverno (Figura 11), foi evidenciado o maior desafio à dissipação de calor no período quente e chuvoso do ano no sul de Minas Gerais. A ocorrência de THI acima de 68 foi ao redor de 80% do tempo na época chuvosa do ano, enquanto este valor foi ao redor de 30% na época seca (Tabela 5). Queda na produção de leite e no desempenho reprodutivo de bovinos leiteiros confinados na época de calor tem sido relatada de forma empírica na região Sudeste do Brasil (PEREIRA; CORREA, 2001). O relacionamento negativo entre THI e produção de leite por vaca tem sido quantificado nos Estados Unidos, sendo demonstrado que o valor de THI acima do qual ocorre queda na produção de leite difere entre regiões (RAVAGNOLO; MISZTAL, 2002; RAVAGNOLO; MISZTAL; HOOGENBOOM, 2000). Naquele país, estima-se que o prejuízo induzido pelo estresse calórico à indústria leiteira seja ao redor de 1 bilhão de dólares por ano (SAINT PIERRE; COBANOV; SCHNITKEY, 2003). Estimativas do impacto do calor sobre a perda em produtividade e econômica em fazendas leiteiras brasileiras deveriam ser geradas, para justificar o investimento em tecnologias para o controle ambiental e em práticas de manejo de vacas.

Tabela 5 Ambientes no *tie stall* da Fazenda São Francisco (SF) nos Verões 1 e 2 e no Inverno, e nos *free stall* da Fazenda Agrindus (AG) e nos *free stall* 2 e 3 e no 4 e 5 da Fazenda Frankana (FK) no Verão 2

	SF Verão 1	SF Inverno	SF Verão 2	AG Verão 2	FK 2 e 3 Verão 2	FK 4 e 5 Verão 2
Observações <sup>1</sup>	3136	3136	1470	1470	1470	1470
<u>Temperatura</u>						
Média	24,4	18,4	23,6	23,3	22,1	23,2
DP	3,9	5,4	4,1	3,3	3,1	3,3
CV	16,0	29,9	17,4	14,0	14,3	14,4
Máxima	37,2	32,5	36,0	35,1	31,6	35,9
Mínima	16,9	6,2	14,5	16,7	13,6	13,6
<u>Umidade</u>						
Média	78,5	74,7	80,1	76,2	77,7	74,9
DP	23,8	16,2	13,8	10,7	10,7	9,4
CV	27,1	22,7	17,7	14,7	14,4	12,7
Máxima	98,2	98,0	98,5	99,0	96,6	97,3
Mínima	33,7	29,0	37,5	37,9	33,7	34,0
<u>THI<sup>2</sup></u>						
Média	72,8	64,3	71,8	71,2	69,7	71,0
DP	4,2	5,9	4,5	3,6	3,4	3,8
CV	5,7	9,3	6,2	5,0	4,9	5,3
Máximo	86,5	79,2	85,2	81,4	79,3	87,4
Mínimo	63,6	49,1	60,5	62,4	59,2	59,4
%>68	88,4	29,3	78,2	76,0	65,8	78,2
%>72	42,5	17,2	39,1	39,6	30,7	39,1

Nota: Média±DP dos valores diários. <sup>1</sup>Mensurações a cada 30 minutos do dia. <sup>2</sup>THI=Índice de Temperatura e Umidade

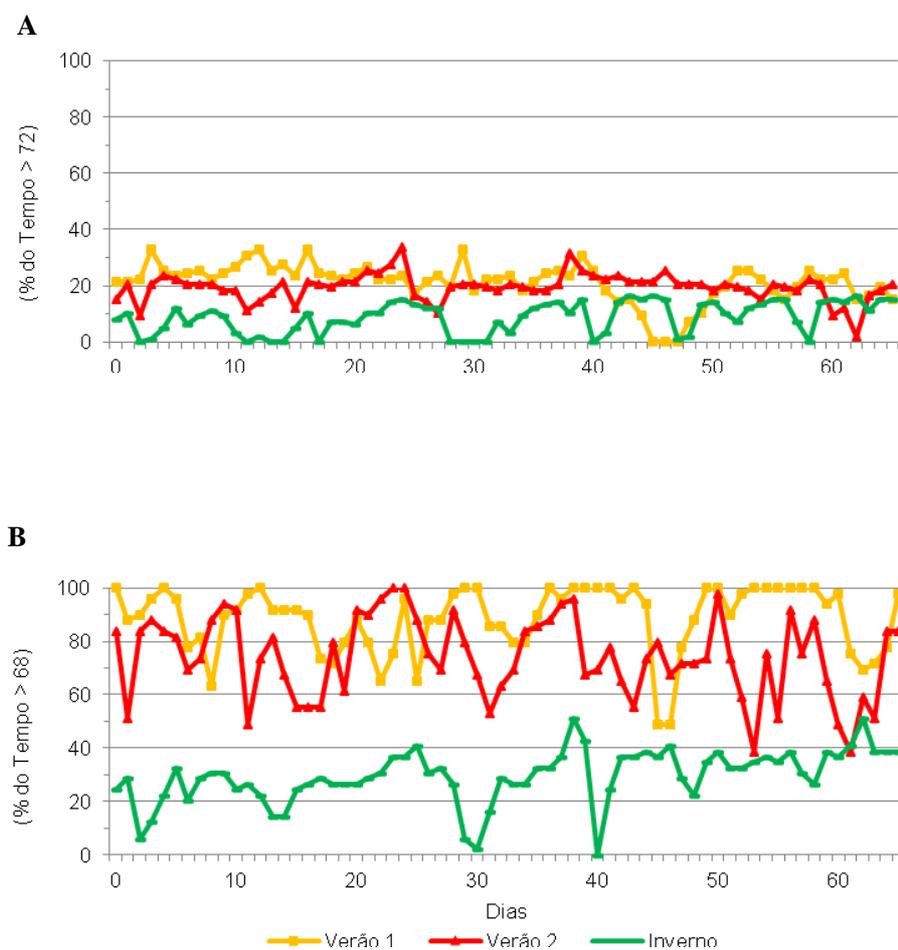
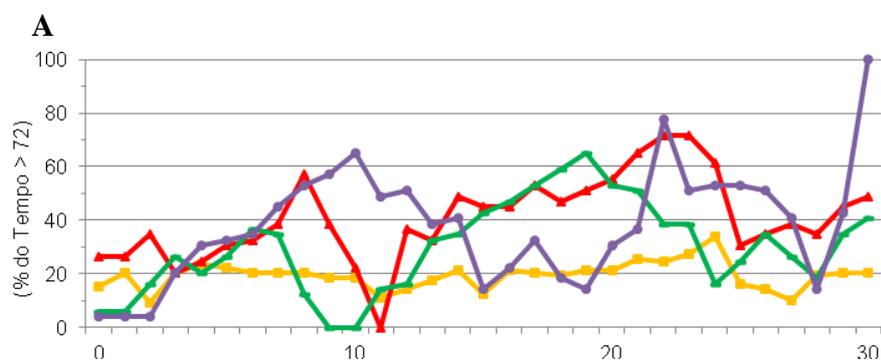


Figura 11 Tempo de Índice de Temperatura e Umidade (THI) na fazenda São Francisco acima de 72 (A) ou de 68 (B) nos Verões 1 e 2 e no inverno

Ao avaliar os dados ambientais coletados simultaneamente nos quatro confinamentos de vacas leiteiras no Verão 2 (Tabela 5, Figura 12), foi observada a ocorrência de períodos diários de alto THI em todos, mesmo com a adoção de tecnologias para resfriamento. Zimelman et al. (2009) sugeriram que ambientes

com mais de 17 h/d (1020 min/d) de THI acima de 68 são demasiadamente estressantes para vacas com produção de 35 kg/d. A média dos tempos diários de THI acima de 68 foi próxima deste valor em todas as instalações (Tabela 4). Este fato questiona a efetividade dos métodos de controle ambiental adotados, baseados em ventilação e aspersores de baixa ou alta pressão. Fica o questionamento se outros tipos de sistema de resfriamento seriam de implantação economicamente viável (SMITH et al., 2006), ou mesmo se estes



seriam capazes de manter o THI abaixo de limites teoricamente recomendados.

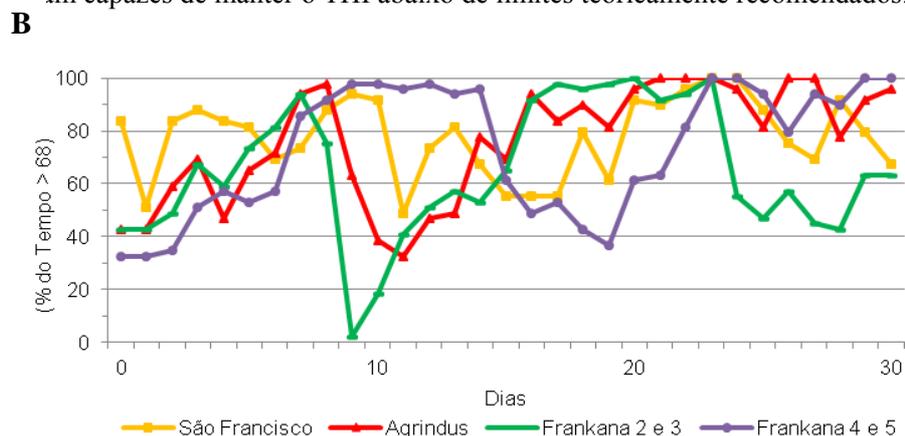


Figura 12 Proporção do dia com Índice de Temperatura e Umidade (THI) acima de 72 (A) ou 68 (B) na Fazenda São Francisco, na Fazenda Agrindus e nos currais da Fazenda Frankana durante o Verão 2

Considerando que os ventiladores eram acionados na Fazenda Agrindus quando a temperatura excedia 16 °C e na Frankana quando esta excedia 17 °C, e que os aspersores eram acionados quando a temperatura atingia 21 °C e 22 °C, respectivamente, a estimativa da necessidade de tempo diário de ventilação foi de 24 h e a de aspersão 15,2 h na Agrindus, enquanto estes valores foram 14,5 h e 11h e 5 min. nos currais 2 e 3 da Frankana, e 15 h e 5 min. nos currais 4 e 5, respectivamente. Como o ciclo de aspersão adotado em ambas as fazendas era de 1 min para cada 4 min de repouso, com aspersores dispostos a cada 2 m de cocho, ou seja, aproximadamente 0,3 aspersor por vaca instalada em free stall com duas linhas de camas paralelas ao cocho, e considerando a vazão de 2,5 L de água/aspersor/min, a necessidade teórica diária de água para resfriamento foi ao redor de 135 L/vaca na Agrindus (15 h x 60 min. / 5 min. x 2,5 L/min x 0,3 vaca/aspersor) e 92 L/vaca na Frankana (1,7 L de água/aspersor/min). Devido à alta demanda quantitativa, o impacto ambiental e energético do uso de água e energia para resfriamento animal pode ganhar importância na pecuária leiteira.

Os melhores indicadores ambientais nos currais 2 e 3 do que nos currais 4 e 5 da Fazenda Frankana merece comentário. Os currais 4 e 5 tinham pé direito mais alto (4 m vs. 3 m), telhado mais inclinado (25% vs. 20%) e telhas refratárias comparativamente a telhas de amianto, sendo, portanto, mais capazes de propiciar ambiente térmico adequado. O sistema de resfriamento e seu manejo eram similares nestes dois *free stall*. Entretanto, os currais 2 e 3 abrigavam 80 primíparas com produção de leite ao redor de 40 kg/d, enquanto os currais 3 e 4 abrigavam 100 múltiparas com produção ao redor de 50 kg/d. A maior produção de calor das vacas adultas do que de primíparas, com menor consumo diário de matéria seca (PURWANTO et al., 1990), pode ter induzido o maior aquecimento dos currais 4 e 5. Entretanto, mesmo com maiores valores de

temperatura e THI (Tabelas 4 e 5), o aumento matinal nestes parâmetros foi mais tardio nos currais 4 e 5 do que nos currais 3 e 4 (Figura 10), sugerindo que aquelas instalações eram mais adequadas ao alojamento dos animais. Estes dados demonstram a maior dificuldade em manter ambiente adequado para animais de alta produção leiteira, o que é coerente ao ambiente mais ameno no *free stall* da recria relativamente ao *tie stall* das vacas na Fazenda São Francisco (Tabelas 3 e 5), já discutido e plausivelmente mediado pelo mesmo mecanismo.

Tem sido observado que fórmulas para cálculo de THI (DICKMEN; HANSEN, 2009) que enfatizam o valor da umidade do ar são mais adequadas para regiões úmidas, enquanto fórmulas que enfatizam a temperatura se adequam melhor a regiões secas (BOHMANOVA; MISZTAL; COLE, 2007). Com o intuito de avaliar se o local afetaria na importância relativa da umidade e da temperatura no valor do THI, a correlação entre o THI médio diário e variáveis ambientais foi avaliada nos ambientes estudados (Tabela 6). Em todos os locais, a temperatura média do ar foi a variável mais correlacionada ao THI, sendo a correlação sempre positiva e superior a 0,97. Dias de THI baixo tiveram alta umidade, apesar da menor correlação entre o THI e medidas de umidade ( $r < 0,80$ ) do que entre o THI e a temperatura média. A ocorrência de chuvas, induzindo queda na temperatura e no THI, mesmo com umidade do ar próxima a 100% (Figura 13), explica o relacionamento inverso entre THI e umidade ao longo dos dias, similar ao observado em regiões tropicais dos Estados Unidos (DICKMEN; HANSEN, 2009). Quando estas correlações foram avaliadas utilizando todos os dados obtidos a cada 30 min. do dia, os relacionamentos negativos do THI e da temperatura com a umidade foram acentuados (Tabela 7), devido ao relacionamento circadiano inverso entre umidade e as outras duas variáveis (Figuras 8 a 10).

Tabela 6 Coeficientes de correlação linear entre o Índice de Temperatura e Umidade (THI) médio do dia e variáveis ambientais no *tie stall* da Fazenda São Francisco (SF) nos Verões 1 e 2 e no Inverno, e nos *free stall* da Fazenda Agrindus (AG) e nos *free stall* 2 e 3 e no 4 e 5 da Fazenda Frankana (FK) no Verão 2

	SF Verão 1	SF Inverno	SF Verão 2	AG Verão 2	FK 2 e 3 Verão 2	FK 4 e 5 Verão 2
Número de dias	65	65	30	30	30	30
<u>Temperatura</u>						
Média	0,97**	0,98**	0,97**	0,97**	0,98**	0,99**
7-13 h	0,87**	0,83**	0,74**	0,89**	0,92**	0,68**
13-19 h	0,84**	0,74**	0,81**	0,87**	0,86**	0,83**
19-1h	0,85**	0,94**	0,90**	0,91**	0,92**	0,90**
1-7 h	0,54**	0,84**	0,63**	0,91**	0,95**	0,91**
Máxima	0,86**	0,66**	0,70**	0,83**	0,91**	0,78**
Mínima	0,17	0,73**	0,14	0,85**	0,92**	0,76**
<u>Umidade</u>						
Média	-0,66**	-0,36	-0,63**	-0,68**	-0,65**	-0,62**
7-13 h	-0,68**	-0,42	-0,59**	-0,71**	-0,69**	-0,64**
13-19h	-0,68**	-0,22	-0,62**	-0,66**	-0,57**	-0,14
19-1h	-0,45*	-0,39	-0,56**	-0,70**	-0,51	-0,43
1-7 h	-0,40	-0,35	-0,51**	-0,51*	-0,67**	-0,80**
Máxima	-0,06	-0,17	-0,17	-0,55*	-0,54	-0,63**
Mínima	-0,75**	-0,17	-0,55**	-0,64**	-0,61**	0,06
<u>THI</u>						
7-13 h	0,01	0,84**	0,74**	0,91**	0,90**	0,62**
13-19 h	0,89**	0,84**	0,87**	0,92**	0,92**	0,87**
19-1h	0,86**	0,95**	0,88**	0,92**	0,95**	0,93**
1-7 h	0,12	0,83**	0,59**	0,89**	0,94**	0,90**
Máximo	0,89**	0,75**	0,69**	0,86**	0,94**	0,79**
Mínimo	0,14	0,74**	0,12	0,74**	0,92**	0,75**
Minutos/d>68	0,55*	0,78**	0,66**	0,89**	0,94**	0,56*
Minutos/d>72	0,91**	0,73**	0,83**	0,93**	0,92**	0,90**
% do dia>68	0,55*	0,78**	0,66**	0,89**	0,94**	0,56*
% do dia>72	0,91**	0,73**	0,83**	0,93**	0,92**	0,90**
Hora do máximo	0,18	-0,15	-0,21	-0,54*	-0,17	-0,06
Hora do mínimo	0,35	0,24	0,39	0,06	0,15	0,17

Nota: Média±DP dos valores diários. \* $P > 0,01$  e  $< 0,05$ . \*\* $P < 0,01$

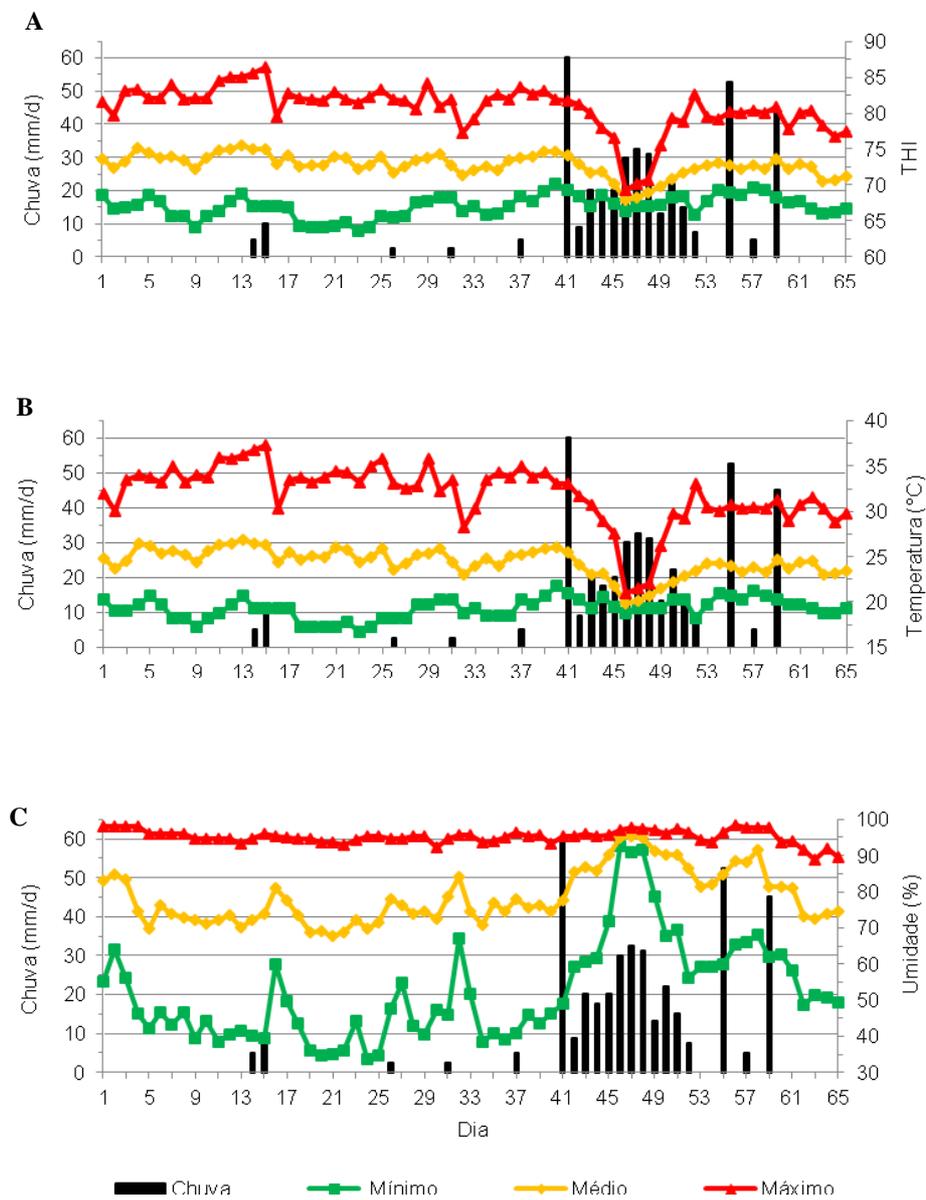


Figura 13 Influência da pluviosidade nas variáveis ambientais da Fazenda São Francisco durante o Verão 1

Tabela 7 Coeficientes de correlação linear entre o Índice de Temperatura e Umidade (THI) ao longo do dia e variáveis ambientais no *tie stall* da Fazenda São Francisco (SF) nos Verões 1 e 2 e no Inverno, e nos *free stall* da Fazenda Agrindus (AG) e nos *free stall* 2 e 3 e no 4 e 5 da Fazenda Frankana (FK) no Verão 2

	SF Verão 1	SF Inverno	SF Verão 2	AG Verão 2	FK 2 e 3 Verão 2	FK 4 e 5 Verão 2
Observações <sup>1</sup>	3072	3072	1505	1505	1505	1505
Temperatura	0,99**	0,99**	0,99**	0,99**	0,99**	0,99**
Umidade	-0,91**	-0,91**	-0,91**	-0,80**	-0,82**	-0,68**
Temp x Umid <sup>2</sup>	-0,94**	-0,94**	-0,94**	-0,88**	-0,89**	-0,78**

Nota: Média±DP dos valores diários. \*\* $P < 0,01$ .

<sup>1</sup>Mensurações a cada 30 minutos do dia. <sup>2</sup>Correlação entre temperatura e umidade.

O maior determinante da variação no THI entre dias foi a temperatura do ar, justificando o uso isolado desta variável como indicador de propensão a estresse calórico e para o manejo diário de sistemas de resfriamento em instalações para gado leiteiro. Com o intuito de obter diretrizes baseadas em temperatura do ar, para o momento de primeiro acionamento diário do sistema de resfriamento, e também para quando este deveria ser desligado, alguns cálculos foram realizados utilizando as equações cúbicas descrevendo a variação ao longo do dia nos valores de temperatura e THI (Figuras 8 e 10). Foram calculados, para cada instalação, o momento médio de obtenção do primeiro THI 68 e 72 (Hora Ascendente), e também o momento de obtenção destes valores na descendente da curva (Hora Descendente) (Figura 10). Estas horas do dia foram então inseridas nas equações descrevendo o relacionamento entre temperatura do ar e hora do dia (Figura 8).

Tabela 8 Hora ascendente e descendente<sup>1</sup> para obtenção de Índice de Temperatura e Umidade (THI) 68 ou 72, e temperatura do ar (°C) nestes horários, no *tie stall* da Fazenda São Francisco (SF) nos Verões 1 e 2 e no Inverno, e nos *free stall* da Fazenda Agrindus (AG) e nos *free stall* 2 e 3 e no 4 e 5 da Fazenda Frankana (FK) no Verão 2

	SF Verão 1	SF Inverno	SF Verão 2	AG Verão 2	FK 2 e 3 Verão 2	FK 4 e 5 Verão 2
<u>THI 72</u>						
Hora ascendente	07 h 50 min	-	09 h 26 min.	10 h 28 min.	12h 50 min.	12h22min.
Hora descendente	21 h 36 min.	16 h13 min.	21 h 48 min.	21 h 20 min.	20 h 07min.	22 h 21 min.
Temp ascendente	22 h 07 min.	-	23 h 06 min	24 h 05 min.	24 h 04 min.	24 h 02 min.
Temp descendente	23 h 01min.	23h 03 min.	23 h 07 min.	24 h 03 min.	24 h 09 min.	24 h 02 min.
<u>THI 68</u>						
Hora ascendente	01 h 05 min.	12 h37 min.	04 h 56 min.	04 h59 min.	8 h	8 h 30 min.
Hora descendente	23 h 13 min.	18 h 57 min.	23 h	23 h 13 min.	22 h 37min.	24 h
Temp ascendente	20 h 03 min.	21 h 07 min.	20 h	20 h 02 min.	20 h 06 min.	20 h 07 min.
Temp descendente	20 h 02 min.	21 h 07 min.	19 h 09 min.	20 h 02 min.	21 h 04 min.	20 h 07 min.

<sup>1</sup>Valores estimados pelas regressões cúbicas descritas nas Figuras 8 e 10.

Durante o verão, nas fazendas São Francisco e Agrindus, localizadas no sudeste brasileiro, o THI 68 foi obtido no período matinal quando a temperatura ambiente estava entre 20,0 e 20,3 °C, e o THI 72 quando a temperatura estava entre 22,7 e 24,5 °C, semelhante aos valores observados para os currais 4 e 5 (20,7 e 24,2 °C) e 2 e 3 (20,6 e 24,4) da Fazenda Frankana, no Paraná. Caso a meta seja acionar o sistema antes da meta de THI estabelecida, temperatura matinal de 19 °C parece ser adequada para o THI 68, e 23 °C para o THI 72. Para desligar o sistema, os valores de temperatura noturna parecem ser próximos aos valores matinais de acionamento. O impacto do valor do THI sobre o tempo diário de funcionamento do sistema de resfriamento não é desprezível. Para THI

68, o tempo desligado seria de 6 a 9,5 h/d, enquanto este seria de 11,5 a 18 h/d para o THI 72. Com base nos dados do Inverno da Fazenda São Francisco (Tabela 8), direcionar o sistema por 22 °C no período seco do ano na região Sudeste seria coerente com THI 68, e 23 °C com THI 72, apesar dos resultados mostrarem que o ambiente não alcançou o THI 72 neste período (Tabela 8). O acionamento matinal da ventilação a 16 e 17 °C, adotado nas fazendas Agrindus e Frankana, correspondeu a THI de aproximadamente 65 e 64 no verão, respectivamente. O acionamento da aspersão a 21 ou 22 °C, nestes mesmos estábulos, correspondeu a THI de aproximadamente 69,0.

As temperaturas vaginais das vacas em lactação e das novilhas da Fazenda São Francisco apresentaram padrão de variação ao longo do dia semelhante ao da temperatura da instalação (Figura 14), sendo o máximo valor observado ao redor das 18 h, após o máximo valor de temperatura da instalação. No Verão 1, a temperatura do *free stall* das novilhas foi inferior à do *tie stall* das vacas (Tabela 3), mas novilhas tiveram maior temperatura vaginal do que as vacas (Figura 15) (Tabela 9). Este fato demonstra que o sistema de resfriamento no *tie stall* foi efetivo em reduzir o acúmulo de calor nos animais, já que novilhas têm menor incremento calórico que vacas em lactação. A maior produção de incremento calórico, justificada pela maior síntese de leite, também pode explicar o fato das vacas em lactação apresentarem temperatura vaginal mais alta no Inverno, mesmo com temperaturas de ambiente menores, quando comparadas com as vacas em lactação no Verão 1 (Tabela 9). Os dados sugerem que mensurar a temperatura dos animais é necessário para monitorar o conforto térmico. Tem sido relatado em vacas leiteiras correlação entre THI e temperatura retal de apenas 0,51 (ZIMBELMAN et al., 2009), sugerindo que outros fatores, além desta variável ambiental, explicam o acúmulo de calor nos animais.

Quando vacas produzindo cerca de 30 kg/d foram mantidas em câmara climática com THI 64, a temperatura retal variou de 38,3 °C a 38,5 °C ao longo

do dia (RHOADS et al., 2009). Em outro grupo de animais submetidos à THI variando de 73 a 82, a temperatura retal às 6 h foi 39,2 °C e foi 40,4 °C às 18 h, sendo acompanhado de aumento da frequência respiratório e quedas na produção de leite e no consumo de alimentos. Valor de temperatura retal ou vaginal acima de 39 °C é sugestivo de ocorrência de estresse por calor. Tanto novilhas como vacas tiveram temperaturas vaginais ao redor de 39 °C no Verão 1, fato não observado na mensuração de Inverno das vacas (Figura 14). O impacto do estresse calórico sobre o ganho de peso de animais jovens não deve ser menosprezado. Marcillac-Embertson et al. (2009) avaliaram o efeito do acesso a sombra sobre o ganho diário de peso de novilhas holândes no verão californiano. O acesso à área coberta aumentou o ganho de peso em 190 g/d, relativamente aos animais que apenas tiveram acesso a ciclos de aspersão de água na linha de cocho. Os animais com acesso a sombra e aspersão também tiveram maior consumo e conversão alimentar.

Tabela 9 Temperatura vaginal de vacas em lactação e novilhas durante o Verão 1 e vacas em lactação durante o Inverno na Fazenda São Francisco.

	Vacas Verão 1	Novilhas Verão 1	Vacas Inverno
Temperatura			
Média	38,14±0,50	38,81±0,50	38,56±0,48
Máxima	39,75±0,15	40,31±0,20	39,97±0,20
Mínima	37,08±0,06	37,40±0,07	37,13±0,08
Máxima observada	39,88	40,50	40,18
Mínima observada	37,00	37,25	37,00

Nota: Média±DP dos valores diários

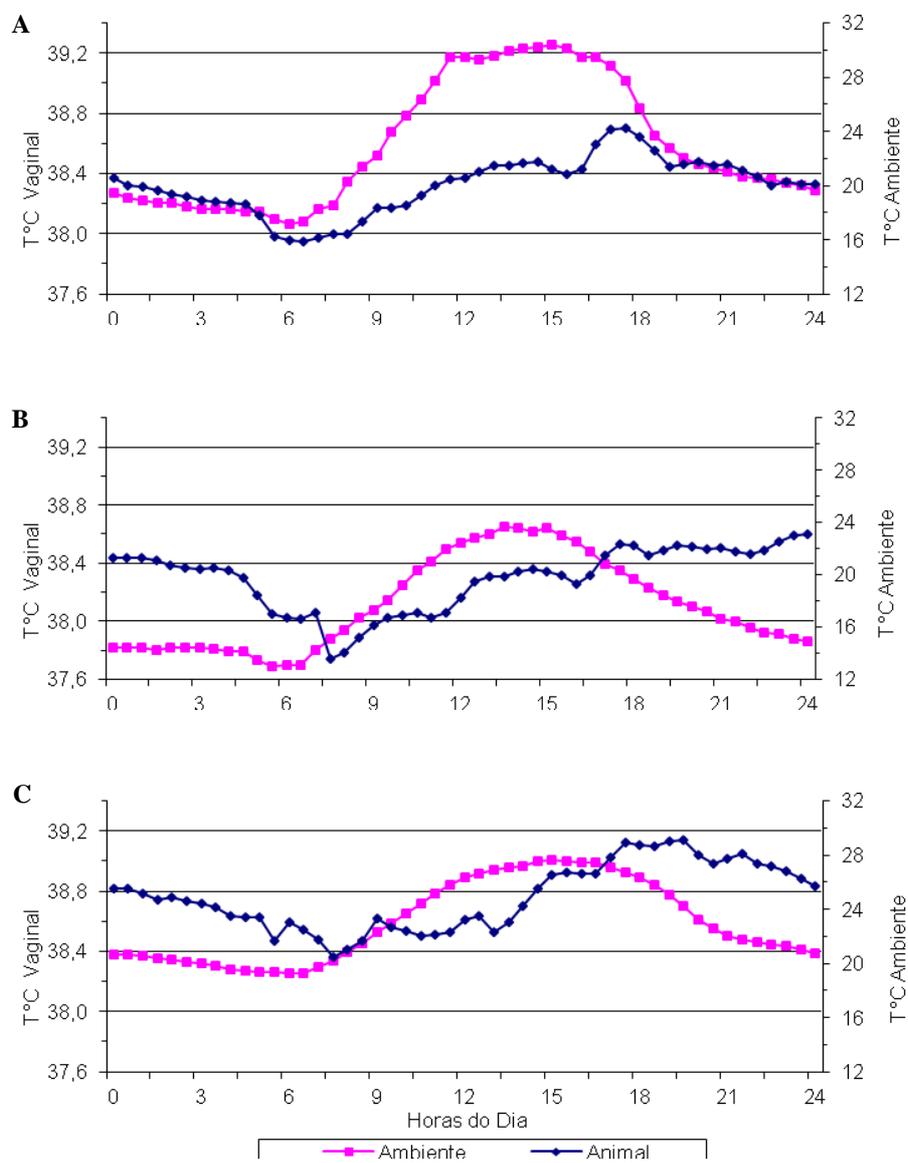


Figura 14 Temperaturas vaginal e ambiental por cinco dias de vacas leiteiras no Verão 1 (A) e no Inverno (B) e de novilhas no Verão 1 (C) na Fazenda São Francisco

No Verão 1, imediatamente antes da ordenha da tarde, a temperatura superficial das vacas em lactação obtida por fotografias termográficas foi correlacionada à temperatura vaginal (Tabela 10). Neste momento, de alta temperatura corporal e da instalação, a temperatura vaginal foi  $38,3\pm 0,6$ , enquanto o valor das temperaturas superficiais foi inferior (Tabela 10). A temperatura superficial dos animais foi semelhante à temperatura termográfica no interior do *tie stall* (Figura 15), demonstrando a dificuldade de dissipar calor por gradiente de temperatura neste momento do dia. As temperaturas superficiais do lado esquerdo foram superiores às do lado direito (Tabela 10), provavelmente por efeito do calor gerado pela fermentação ruminal. No entanto, as correlações entre as temperaturas vaginal e superficial foram baixas, e muitas vezes negativas. Fotografias termográficas não demonstraram ser um indicador preciso da temperatura vaginal. O maior coeficiente de correlação foi de -0,44 entre a temperatura vaginal e a temperatura mínima do lado esquerdo, sugerindo que animais mais capazes de dissipar calor, e, portanto com menor temperatura vaginal, tiveram temperatura superficial maior.

Tabela 10 Coeficientes de correlação linear entre a temperatura vaginal e a temperatura mensurada simultaneamente por fotografia termográfica dos lados esquerdo (E) e direito (D) de 24 vacas Holandês

	Média D	Mín D	Max D	Média E	Min E	Max E
Min D	0,11					
Max D	0,36	-0,15				
Média E	0,46*	0,10				
Min E	0,12	0,32	-0,07	0,33		
Max E	0,00	-0,01	0,55*	0,59**	0,14	
Vagina <sup>1</sup>	-0,02	-0,07	0,26	-0,27	-0,44	-0,01
Valor (°C)	34,6±0,6	25,3±1,6	37,7±1,1	34,9±0,8	26,0±1,4	38,1±1,2

<sup>1</sup>O valor das temperaturas vaginais foi  $38,3\pm 0,6$  °C. \* $P > 0,01$  e  $< 0,05$ . \*\* $P < 0,01$

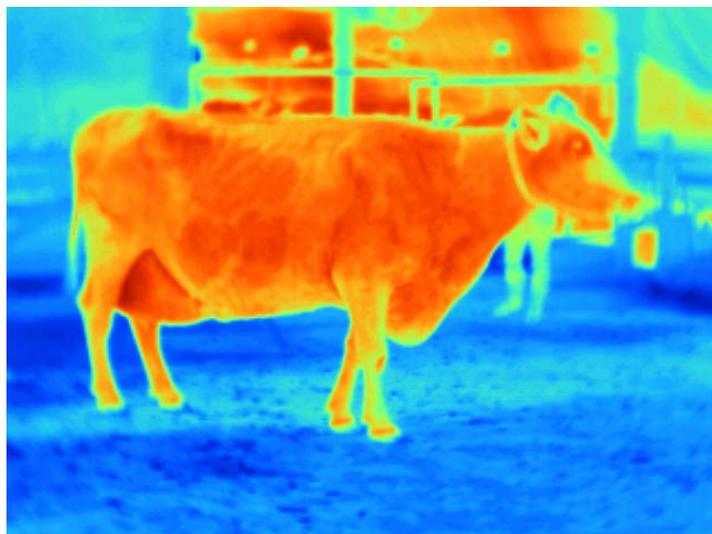


Figura 15 Fotografia termográfica de uma vaca leiteira antes da ordenha da tarde e do *tie stall* ao fundo

Nota: Quanto maior a intensidade de cor, maior a temperatura.

## 5 CONCLUSÕES

A frequência diária de THI superior a 68 e 72 sugere que houve propensão a estresse calórico nos estábulos leiteiros nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná, demonstrando que as construções e os sistemas de resfriamento por ventilação e aspersão não mantiveram os parâmetros ambientais do verão abaixo de limites recomendados.

A temperatura do ar foi o maior determinante da variação no THI entre dias, enquanto a umidade teve correlação menor e negativa com o THI. A ocorrência de chuvas contribuiu para a melhora no ambiente térmico dos confinamentos.

O monitoramento da temperatura do ar parece ser suficiente para definir estratégias de resfriamento em vacas confinadas.

Tanto vacas no inverno como novilhas no verão tiveram temperatura retal sugestivas de estresse por calor.

Fotografias termográficas não foram uma ferramenta confiável para estimar a temperatura vaginal de vacas leiteiras.

## REFERÊNCIAS

- AKERS, R. M. et al. Prolactin regulation of milk secretion and biochemical differentiation of mammary epithelial cells in periparturient cows. **Endocrinology**, Baltimore, v. 109, p. 23-25, 1981.
- BAUMAN, D. E.; CURRIE, W. B. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 63, p. 1514-1529, 1980.
- BAUMAN, D. E.; VERNON, R. G. Effects of exogenous bovine somatotropin on lactation. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 13, p. 437-461, 1993.
- BAUMGARD, L. H.; RHOADS, R. P. Ruminant nutrition symposium: ruminant production and metabolic responses to heat stress. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 6, p. 1855-1865, June 2012.
- BEEDE, D. K.; COLLIER, R. J. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 62, n. 2, p. 543-554, Feb. 1996.
- BERMAN, A. et al. Upper critical-temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy-cows in a sub-tropical climate. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 68, n. 6, p. 1488-1495, June 1985.
- BERMAN, A. J. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 83, n. 6, p. 1377-1384, June 2005.
- BERRY, I. L.; SHANKLIN, M. D.; JOHNSON, H. D. Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Bethesda, v. 7, p. 329-331, 1964.
- BIANCA, W. Relative importance of dry-and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. **Nature**, London, v. 195, p. 251-252, 1962.
- BOHMANOVA, J.; MISZTAL, I.; COLE, J. B. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 4, p. 1947-1956, Apr. 2007.

BRODY, S. **Bioenergetics and growth**: with special reference to the efficiency complex in domestic animals. Baltimore: Reinhold, 1945. 1023 p.

COLLIER, R. J.; DAHL, G. E.; VANBAALE, M. J. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, n. 4, p. 1244-1253, Apr. 2006.

COLLIER, R. J. et al. Effects of heat-stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth-weight and postpartum milk-yield of holstein cows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 54, n. 2, p. 309-319, Feb. 1982.

COPPOCK, C. E. et al. Lactating dairy cow responses to dietary sodium, chloride, and bicarbonate during hot weather. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 65, p. 566-576, 1982.

CORREA-CALDERON, A. et al. Thermoregulatory responses of Holstein and Brown Swiss heat-stressed dairy cows to two different cooling systems. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 48, n. 3, p. 142-148, 2004.

DAVEY, H. W. et al. STAT5b is required for GH-induced liver IGF-I gene expression. **Endocrinology**, Baltimore, v. 142, n. 9, p. 3836-3841, Sept. 2001.

DIKMEN, S.; HANSEN, P. J. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 1, p. 109-116, Jan. 2009.

FEUERMAN, Y.; MABJEESH, S. J.; SHAMAY, A. Leptin affects prolactin action on milk protein and fat synthesis in the bovine mammary gland. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 87, n. 9, p. 2941-2946, Sept. 2004.

FUQUAY, J. W. Heat stress as it affects animal production. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 32, p. 164-174, 1981.

HERRINGTON, J. et al. The role of STAT proteins in growth hormone signaling. **Oncogene**, Basingstoke, v. 19, n. 21, p. 2585-2597, May 2000.

HONIG, H. et al. Performance and welfare of high-yielding dairy cows subjected to 5 or 8 cooling sessions daily under hot and humid climate. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, n. 7, p. 3736-3742, July 2012.

IGONO, M. O.; BJOTVEDT, G.; SANFORDCRANE, H. T. Environmental profile and critical-temperature effects on milk-production of holstein cows in desert climate. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 36, n. 2, p. 77-87, May 1992.

IGONO, M. O. et al. Effect of season on milk temperature, milk growth-hormone, prolactin, and somatic-cell counts of lactating cattle. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 32, n. 3, p. 194-200, 1988.

\_\_\_\_\_. Spray cooling effects on milk production, milk and rectal temperatures of cows during a moderate temperature summer season. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 68, p. 979-985, 1985.

IGONO, M. O.; JOHNSON, H. D. Physiological stress index of lactating dairy cows based on diurnal pattern of rectal temperature. **Journal of Interdisciplinary Cycle Research**, Lisse, v. 21, n. 4, p. 303-320, Sept. 1990.

IMADA, K.; LEONARD, W. J. The Jak-STAT pathway. **Molecular Immunology**, Elmsford, v. 37, n. 1/2, p. 1-11, Jan. 2000.

ITOH, F. et al. Insulin and glucagon secretion in lactating cows during heat exposure. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 76, n. 8, p. 2182-2189, Aug. 1998.

JONHSON, H. D. et al. **Temperature-humidity effects including influence of acclimation in feed and water consumption of Holstein cattle**. Illinois: University of Missouri, 1963. 43 p. (Agriculture Experiment Station. Bulletin, 846).

JOHNSON, H. D.; VANJONACK, W. J. Effects of environmental and other stressors on blood hormone patterns in lactating animals. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 59, p. 1603-1617, 1976.

KADZERE, C. T. et al. Heat stress in lactating dairy cows: a review. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 59-91, Oct. 2002.

LEGRAND, A. L.; KEYSERLINGK, M. A. G. von; WEARY, D. M. Preference and usage of pasture versus free-stall housing by lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 8, p. 3651-3658, Aug. 2009.

MADER, T. L.; DAVIS, M. S.; BROWN-BRANDL, T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 3, p. 712-719, Mar. 2006.

MANALU, W. et al. Assessment of thermal status of somatotropin injected lactating Holstein cows maintained under controlled-laboratory thermoneutral, hot and cold environments. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 121, n. 4, p. 2006-2019, Apr. 1991.

MARCILLAC-EMBERTSON, N. M. et al. Effects of shade and sprinklers on performance, behavior, physiology, and the environment of heifers. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 2, p. 506-517, Feb. 2009.

MCDOWELL, R. E. **Improvement of livestock production in warm climates**. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 1972 p.

MCDOWELL, R. E.; HOOVEN, N. W.; CAMOENS, J. K. Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 59, p. 965-973, 1976.

MCMURTRY, J. P. et al. Environmental and lactational variables affecting prolactin concentrations in bovine milk. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 58, n. 2, p. 181-189, 1975.

MCMURTRY, J. P.; MALVEN, P. V. Radioimmunoassay of endogenous and exogenous prolactin in milk of rats. **Journal of Endocrinology**, Bristol, v. 61, p. 211, 1974.

MOHAMMED, M. E.; JOHNSON, H. D. Effect of growth hormone on milk yields and related physiological functions of Holstein cows exposed to heat stress. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 68, p. 1123-1133, 1985.

MORTON, J. M. et al. Effects of environmental heat on conception rates in lactating dairy cows: critical periods of exposure. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 5, p. 2271-2278, May 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **A guide to environmental research on animals**. Washington: National Academy Science, 1971. 88 p.

\_\_\_\_\_. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7<sup>th</sup> ed. Washington: National Academy, 2001. 152 p.

\_\_\_\_\_. **Nutritional energetics of domestic animals and glossary of energy terms**. Washington: National Academy, 1981. 54 p.

ORTIZ, X. A. et al. Effect of complementation of cattle cooling systems with feedline soakers on lactating dairy cows in a desert environment. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 2, p. 1026-1031, Feb. 2011.

PEREIRA, M. N.; CORREA, C. E. S. Manejo dos sistemas de produção de leite em confinamento. In: MARTINS, C. E. (Ed.). **Sustentabilidade de sistemas de produção de leite a pasto e em confinamento**. Juiz de Fora: EMBRAPA CNPGL, 2001. p. 61-73.

PURWANTO, B. P. et al. Diurnal patterns of heat production and HR under thermoneutral conditions in Holstein Friesian cows differing in milk production. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 114, n. 2, p. 139-142, Apr. 1990.

RAVAGNOLO, O.; MISZTAL, I. Studies on genetics of heat tolerance in dairy cattle with reduced weather information via cluster analysis. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, n. 6, p. 1586-1589, June 2002.

RAVAGNOLO, O.; MISZTAL, I.; HOOGENBOOM, G. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, n. 9, p. 2120-2125, Sept. 2000.

RHOADS, M. L. et al. Effects of heat stress and nutrition on lactating Holstein cows: II., aspects of hepatic growth hormone responsiveness. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 93, n. 1, p. 170-179, Jan. 2010.

\_\_\_\_\_. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 5, p. 1986-1997, May 2009.

\_\_\_\_\_. Short communication: alterations in expression of gluconeogenic genes during heat stress and exogenous bovine somatotropin administration. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 4, p. 1917-1921, Apr. 2011.

RICHARDS, J. I. Milk production of Friesian cows subjected to high daytime temperatures when allowed food either ad lib or at nighttime only. **Tropical Animal Health and Production**, Edinburgh, v. 17, p. 141-152, 1985.

SAINT PIERRE, N. R.; COBANOV, B.; SCHNITKEY, G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p. E52-E77, 2003. Supplement.

SANO, H. et al. Turnover and oxidation rates of blood glucose and heat production in sheep exposed to heat. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 66, p. 856-861, 1983.

SETTIVARI, R. S. et al. Relationship of thermal status to productivity in heat-stressed dairy cows given recombinant bovine somatotropin. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 3, p. 1265-1280, Mar. 2007.

SHWARTZ, G. et al. Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, n. 3, p. 935-942, Mar. 2009.

SILANIKOVE, N. The struggle to maintain hydration and osmoregulation in animals experiencing severe dehydration and rapid rehydration: the story of ruminants. **Experimental Physiology**, New York, v. 79, n. 3, p. 281-300, May 1994.

SMITH, T. R. et al. Evaporative tunnel cooling of dairy cows in the southeast: I., effect on body temperature and respiration rate. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 89, n. 10, p. 3904-3914, Oct. 2006.

THOM, E. C. Cooling degree days. **Air Conditioning, Heating and Ventilating**, New York, v. 55, p. 65-69, 1958.

\_\_\_\_\_. The discomfort index. **Weatherwise**, Philadelphia, v. 12, p. 57-59, 1959.

VERNON, R. G. Effects of diet on lipolysis and its regulation. **Proceedings of the Nutrition Society**, Cambridge, v. 51, n. 3, p. 397-408, Dec. 1992.

WAYMAN, O. et al. Effect of ad libitum or force-feeding of 2 rations on lactating dairy cows subject to temperature stress. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 45, n. 12, p. 1472, 1962.

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

\_\_\_\_\_. Nutritional strategies for managing the heatstressed dairy cow. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 2, p. 21-35, 1999. Supplement.

WEST, J. W.; MULLINIX, B. G.; BERNARD, J. K. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p. 232-242, Jan. 2003.

WHEELLOCK, J. B. et al. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 93, n. 2, p. 644-655, Feb. 2010.

YOUSEF, M. K. **Stress physiology in livestock**. Boca Raton: CRC, 1985. 159 p.

ZIMBELMAN, R. B. et al. **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**. Savoy: ARPAS, 2009. Disponível em: <[http://animal.cals.arizona.edu/swnmc/Proceedings/2009/14Collier\\_09.pdf](http://animal.cals.arizona.edu/swnmc/Proceedings/2009/14Collier_09.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2012.