

HANDREY BORGES ARAÚJO

Avaliação de Sistemas de Resfriamento Adiabático
Evaporativo em “Baías Livres” para Bovinos
com Alta Produção de Leite

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de "Magister Scientiae".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2002

HANDREY BORGES ARAÚJO

Avaliação de Sistemas de Resfriamento Adiabático
Evaporativo em “Baías Livres” para Bovinos
com Alta Produção de Leite

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de "Magister Scientiae".

APROVADA: 05 de agosto de 2002.

Prof^a. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco
(Conselheira)

Prof. Paulo Roberto Cecon
(Conselheiro)

Prof^a. Cecília de Fátima Souza

Prof. Evandro de Castro Melo

Prof. Fernando da Costa Baêta
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Jesus, nosso irmão maior, que a cada dia nos oferece uma nova oportunidade de reconhecimento de nossos erros e restauração de nossas faltas, em busca da felicidade suprema.

Aos meus pais, João Batista Murta Araújo e Márcia Borges da Silva, que a tempos vêm se dedicando ao compromisso laborioso de ajuda no crescimento de seus filhos.

À minha mulher Karina Helena da Cruz, pelo apoio nas horas difíceis e pela companhia agradável nos momentos de alegria. Ao meu filho João Cruz Araújo Neto, que desde tão pequeno me ensina coisas tão grandes.

À minha querida mãe de Viçosa, Adagmar Mendes de Freitas e família, pela oportunidade de convivência e pelo enorme carinho.

Aos amigos, que participam de nossa vida como verdadeiros colegas de aula, na escola da vida.

Aos mestres, que em todos os níveis, são os maiores responsáveis pelo nosso crescimento intelectual, desde os queridos professores de primário, na Escola Estadual Professor “Chaves”, passando pelos professores de ginásio e colegial, no Colégio Nossa Senhora das Graças e finalmente pelos professores da Universidade Federal de Viçosa, que tanto contribuíram com minha formação profissional.

À Empresa Agromarau e à Fazenda Mateira, na pessoa do Sr. Tercílio Bizinotto e filhos, que tanto colaboraram para o desenvolvimento desta tese.

À vida, que nos oferece a maior e melhor escola de nossas existências, formando-nos na disciplina do amor verdadeiro.

ÍNDICE

RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. O GADO LEITEIRO E SEU AMBIENTE TÉRMICO	4
2.2. COMPORTAMENTO DO GADO LEITEIRO SOB ESTRESSE CALÓRICO	6
2.3. ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DO ESTRESSE CALÓRICO	6
2.4. ÍNDICES DO AMBIENTE TÉRMICO.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. CARACTERÍSTICAS DO GALPÃO	12
3.2. TRATAMENTOS	15
3.3. SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO	15
3.4. CARACTERIZAÇÃO DOS ANIMAIS.....	18
3.5. INSTRUMENTOS E MEDIÇÕES	18
3.6. DELINEAMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	19

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1. DADOS DO AMBIENTE	20
4.1.1. <i>Índice de Temperatura Equivalente (ITE)</i>	23
4.1.2. <i>Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU)</i>	25
4.1.3. <i>Carga Térmica de Radiação (CTR)</i>	27
4.1.4. <i>Umidade Relativa do Ar (UR)</i>	29
4.1.5. <i>Eficiência do Resfriamento Evaporativo (EFI)</i>	31
4.2. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS ANIMAIS	32
4.2.1. <i>Frequência Respiratória (FR)</i>	33
4.2.2. <i>Temperatura Retal (TR)</i>	34
4.2.3. <i>Produção de Leite (PL)</i>	35
5. RESUMO E CONCLUSÕES	37
BIBLIOGRAFIA	41

RESUMO

ARAÚJO, Handrey Borges, Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2002.
Avaliação de sistemas de resfriamento adiabático evaporativo em “baias livres” para bovinos com alta produção de leite. Orientador: Fernando da Costa Baêta; Conselheiros: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco e Paulo Roberto Cecon.

Com a finalidade de suprir informações sobre a melhoria do ambiente térmico para animais de elevado nível produtivo, o trabalho teve como objetivo avaliar sistemas de resfriamento evaporativo do ar, com e sem presença de ventilação forçada, num sistema de produção de leite do tipo “baias livres”, com animais de cerca de $40\text{kg}\cdot\text{animal}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$. O experimento foi realizado durante o período de janeiro a abril de 2001. Os animais eram da raça Holandesa, criados em sistema de confinamento. O galpão experimental, com orientação leste-oeste, possuía 65,60m de comprimento, 11,10m de vão, 3,50m de pé-direito e 2,80m de beiral, telhado com estrutura metálica, cobertura de alumínio com 11° de inclinação e pequena abertura na cumeeira. O galpão foi dividido em três partes, para abrigar os tratamentos: nebulização, nebulização+ventilação e testemunha. O sistema de nebulização empregado foi o de média pressão, 600kPa, vazão de $6\text{L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{bico}^{-1}$, com bicos nebulizadores cerâmicos, espaçados de 2,00m, a altura de 3,50m, distribuídos em três linhas. Os ventiladores, com vazão de $280\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$, foram espaçados de 7,20m, em duas linhas no sentido longitudinal. Os sistemas foram acionados automaticamente sempre que a temperatura interna do ar ultrapassava 23°C e

a umidade relativa fosse inferior a 80%. Na caracterização das respostas animais foram definidos aleatoriamente grupos de cinco animais dentre aqueles que possuíam as mais próximas características de raça, idade, número de parições, data da última parição e média produtiva. Os efeitos de cada tratamento foram observados a partir de um período padrão inicial de oito dias, no qual todos os animais ficaram sob mesmas condições ambientais com todos os equipamentos de ventilação e nebulização desligados, seguido de período experimental de igual duração. As leituras de temperatura de bulbo seco, bulbo molhado, globo negro, e a velocidade do ar foram feitas a 0,80m do piso em cada tratamento e dentro de um abrigo meteorológico externo, em intervalos de duas horas, de 0:00 às 24:00 horas, a cada dois dias, durante dois períodos experimentais. Os registros de produção de leite foram realizados nos três últimos dias do período pré-experimental e nos cinco últimos dias do período experimental, três vezes ao dia, às 5:00, 12:00 e 17:00 horas, e a frequência respiratória, bem como a temperatura retal, às 5:00 horas e às 13:00 horas. Com base nas condições experimentais, nos resultados ambientais e nas respostas animais, de forma geral, o tratamento nebulização+ventilação foi o que conduziu, embora discretamente, às melhores condições de conforto e de produção.

ABSTRACT

ARAÚJO, Handrey Borges, Universidade Federal de Viçosa, August of 2002.
Evaluation of evaporative adiabatic cooling systems in "free stalls" for cows with high production of milk. Advisor: Fernando da Costa Baêta; Committee members: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco and Paulo Roberto Cecon.

Having the goal of supplying information about the effect of the thermal environment on milk high productive animals, the work had the objective of evaluate the evaporative cooling of the air, with and without mechanical ventilation, in the environment of a free stall dairy cow barn and in the production of a $40\text{kg}\cdot\text{day}^{-1}$ Holstein confined animals. The experiment was carried out during the period of January to April of 2001. The experimental building had east-west orientation, 65.60m length, 11.10m wide, 3.50m height, 2.80m edge, steel structure, eleven degree aluminum covering and small opening in the ridge. The building was divided in three parts, one for each treatment as such: spray, spray+fan and standard. The spray system with 600kPa of pressure had three lines with $6\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$.ceramic nozzles, each 2.00m, positioned at 3.50m from the floor. The $280\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$ fans were positioned along the building, in two lines, each 7.20m. The spray system and the fans were turned on automatically above 23°C air temperature, and the spray system was turned off when relative humidity was grater then 80%. For animal responses it was defined randomized groups of five animals per treatment among those with the same age, lactating stage, giving birth number and productivity level. The

treatment effects were observed based on initial standard period of eight days, in which all the animals were under same environmental conditions, without spray and mechanical ventilation, followed by experimental period of same duration. The environmental dry, wet and black globe air temperatures and air speed were taken at 0.80m of the floor inside of the building, at the center of each treatment, and also from outside, from 0:00 to 24:00 hours, every two hours, every two days, during two experimental periods. The daily milk production registration was based on the last three days of the standard initial period and on the last five days of the experimental period, which where the result of 5:00, 12:00 and 17:00 hours milking. The respiration frequency, as well as the rectal temperature, was taken at 5:00 and 13:00 o'clock. Under the experimental conditions, based on thermal environment measurements and animal responses, in a general way, the spray+fan system was, even thought slight, that one which contributed for better animal comfort and production.

1. INTRODUÇÃO

Importantes mudanças na produção de leite brasileira, vêm ocorrendo, advindas, principalmente, das transformações de mercado, ocorridas em todo o mundo. No entanto, o progresso científico verificado nessa atividade, tem sido especialmente nas áreas de genética, nutrição e manejo, contrapondo-se à pouca atenção que se vem dando às técnicas de alojamento e, sobretudo, ao ambiente de criação dos animais. Este fato tem sido apontado como um dos determinantes nas possibilidades de se obter benefícios que resultem em máximo desempenho produtivo dos plantéis.

Segundo CURTIS (1983), um ambiente pode ser considerado termicamente confortável para o animal quando a quantidade de calor resultante de seu metabolismo é igualmente dissipado para o ambiente e a energia de manutenção é mínima, ocorrendo, portanto, a maior eficiência produtiva. A faixa de temperatura ambiental em que tal fato ocorre é denominada, zona de conforto térmico ou zona termoneutra. Para o gado leiteiro, existe grande variação na literatura sobre as temperaturas ambientais, que delimitam esta zona termoneutra, pois o conforto térmico também depende da adaptação do animal ao frio e calor (inverno e verão), de seu nível metabólico, do tempo de exposição e do nível de produção, além de outros parâmetros do ambiente térmico, como radiação solar, umidade relativa e vento (MÜLLER, 1989).

Para bovinos de origem européia, de acordo com BAËTA (1985), em experimento em condições de calor para umidade relativa igual a 50% e vento de $0,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, a zona de conforto térmico é delimitada pelas temperaturas ambientais de 11°C a 25°C .

As melhorias térmicas ambientais possíveis de serem implantadas podem ser de origem natural ou artificial. Os recursos de acondicionamento térmico natural normalmente são a localização, a orientação, o paisagismo circundante, a adequada escolha dos materiais de cobertura, dentre outros. Dentre as medidas artificiais de acondicionamento térmico, destacam-se a ventilação forçada e o resfriamento evaporativo do ar, sendo que a ventilação forçada favorece a dissipação de calor corporal principalmente por convecção, enquanto o ar resfriado evaporativamente, favorece a dissipação de calor corporal na forma sensível (BAËTA e SOUZA, 1997).

A ventilação forçada e o resfriamento evaporativo têm sido utilizados na busca de melhorias das condições térmicas ambientais de verão para vacas leiteiras, objetivando a redução do estresse térmico e a manutenção da produção de leite.

Os sistemas de resfriamento evaporativo se baseiam na mudança do estado psicrométrico do ar para maior umidade e, conseqüentemente, menor temperatura, mediante o contato físico entre as moléculas do ar e da água, através de uma superfície umedecida ou líquida, ou com água pulverizada ou aspergida. Conforme cartas psicrométricas, um ar a 30°C e 40% de umidade relativa ao passar para 80% de umidade relativa, terá sua temperatura reduzida em cerca de 7°C (ZOLNIER, 1994).

Estudos têm demonstrado que o impacto do ambiente térmico sobre a produção de leite está intimamente ligado ao nível de produção dos animais, sendo mais afetados aqueles de maior nível de produção. Segundo vários autores isto ocorre em razão da quantidade de calor resultante do processo de produção do leite que, ao adicionar ao restante do calor resultante de outros processos metabólicos, tem que ser dissipado para o meio ambiente, buscando-se manter a temperatura corporal dentro de limites considerados normais.

O Brasil, como todo país tropical, em muitas regiões, apresenta elevadas médias de temperatura do ar em parte do ano, temperaturas estas consideradas excessivas para a máxima produtividade do gado Holandês, muito utilizado na pecuária leiteira devido ao seu alto potencial genético de produção de leite. Soma-se a isto o crescente número de animais com produção diária superior a 30kg, sendo que a literatura disponível é escassa de resultados experimentais que possam balizar tomadas de decisão de modificações ambientais nestes casos.

Tendo em vista o exposto, este trabalho objetivou avaliar sistemas de resfriamento adiabático evaporativo do ar, com e sem presença de ventilação forçada, em condições de verão, num sistema de produção intensiva de leite do tipo “bairas livres”, com animais de elevado nível de produção (cerca de 40kg.animal⁻¹.dia⁻¹).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Gado Leiteiro e seu Ambiente Térmico

Os bovinos, animais homeotermos, mantêm a temperatura basal em níveis estáveis, entre 38°C e 39,5°C, controlada pelo centro termoregulador no sistema nervoso central, acionado principalmente, por células termo-receptoras localizadas na pele. Informações externas do ambiente são captadas por estas células e levadas ao hipotálamo, que aciona mecanismos fisiológicos para dissipação ou conservação do calor (CURTIS, 1983).

Respostas fisiológicas de vacas leiteiras, sob condição de estresse térmico por calor, normalmente são: aumento da temperatura retal; redução na ingestão de alimentos; aumento da frequência respiratória; aumento da sudorese; e redução da produção; além de modificações hormonais e baixa na fertilidade. De forma geral, o gado leiteiro sob condições térmicas estressantes aumenta a dissipação de calor na forma evaporativa (transpiração e ofegação) e reduz a quantidade de calor resultante de processos metabólicos (produção) (SILVA, 2000).

Resultados experimentais obtidos por BAÊTA (1985), relacionando o efeito da temperatura do ar, da umidade relativa e da velocidade do ar nas variáveis zootécnicas produção de leite, temperatura retal, frequência respiratória, ingestão de alimentos e evaporação total de água pelo animal, são

mostrados no Quadro 01, para animais com produção média de leite de 23,7kg.dia⁻¹.

Neste experimento todas as variáveis zootécnicas estudadas foram prejudicadas com a elevação da temperatura do ar, de 20°C para 32°C, agravando-se ainda mais com o aumento na umidade relativa. Observou-se, também, que o aumento da velocidade do ar conduziu a melhoria dos parâmetros considerados.

Segundo o autor, com aumento na temperatura do ar, aumenta a dificuldade do animal em dissipar calor na forma sensível, o que resulta em maior importância para a perda de calor latente. Neste sentido, o aumento da perda de água por evaporação pelo animal é providencial. No processo de evaporação cada grama de água evaporada elimina cerca de 540 calorias do calor corporal do animal. Porém, com a elevação da umidade do ar, esta dissipação de calor pelo animal na forma latente é gradativamente reduzida, chegando a ser nula, quando a umidade relativa atinge 100%.

Observa-se, no Quadro 01, que o efeito combinado de 20°C e 50% de umidade relativa, quando comparado com 32°C e 80% de umidade relativa, para a velocidade do ar de 1,7m.s⁻¹, conduziu a 47,6% de redução na ingestão de alimento e perda de 26,8% na produção de leite. Observa-se, ainda que, quando a velocidade do ar passou para 5,3m.s⁻¹ ocorreu 15,9% de redução na ingestão de alimentos e também redução de 15,9% na produção de leite.

QUADRO 01 – Valores de Variação na Produção de Leite (Δ PL), Temperatura Retal (TR), Frequência Respiratória (FR), Ingestão de Alimentos (IA), e Evaporação (Ev), em Função da Temperatura do Ar (*tbs*), Umidade Relativa (*UR*), e Velocidade do Ar (*v*).

<i>tbs</i> (°C)	<i>UR</i> (%)	<i>v</i> (m.s ⁻¹)	Δ PL (%)	TR (°C)	FR (resp.min ⁻¹)	IA (kg)	Ev (g.h ⁻¹)
20	50	1,7	0,7	38,6	32	45,2	501
	80	1,7	-0,7	38,6	29	43,0	305
32	50	1,7	-7,1	38,8	40	41,5	761
	80	1,7	-26,1	40,5	106	23,7	428
20	50	5,3	0,7	38,5	23	48,0	325
	80	5,3	-0,7	38,3	19	47,7	280
32	50	5,3	-1,4	38,7	44	39,3	722
	80	5,3	-15,2	39,6	89	38,0	371

Fonte: BAËTA (1985).

2.2. Comportamento do Gado Leiteiro sob Estresse Calórico

Arave e Albright (1981), citado por FRAZZI e outros (2000), observaram algumas modificações comportamentais em respostas a condições de estresse calórico em gado leiteiro. Em instalações do tipo “free-stall”, as vacas permaneciam dentro da instalação durante as horas de temperatura ambiente mais elevadas, possivelmente para abrigar-se da radiação solar intensa. Durante a noite, o processo se invertia, deitando-se do lado de fora da instalação.

FRAZZI e outros (2000), conduzindo experimento com 42 vacas italianas, Friesian, com produção média de $34\text{kg}\cdot\text{animal}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$, observaram que todos os grupos de animais submetidos a ventilação, ventilação e nebulização e o grupo testemunha, mantiveram-se dentro da instalação durante as horas de intensa radiação solar. Os autores observaram, ainda, que os animais submetidos à presença de nebulização buscaram mais os piquetes durante o dia, apesar da forte carga térmica de radiação solar.

PORTUGAL e outros (2000), estudando o efeito da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar sobre a frequência de ingestão de alimentos e água, e de ruminação em vacas da raça Holandesa, notaram que a frequência de alimentação, no intervalo 18:00 às 24:00 horas, foi maior durante o verão, quando comparado ao mesmo intervalo no inverno, determinado, provavelmente, pela alta temperatura registrada no período de 12:00 às 18:00 horas ($29,4^{\circ}\text{C}$), superior ao limite da zona de termoneutralidade. Segundo esses autores, nessas condições, o animal modifica o padrão de comportamento, estendendo o período de alimentação para os intervalos em que as combinações temperatura ambiente e umidade do ar sejam mais adequadas.

2.3. Estratégias de Redução do Estresse Calórico

Vários autores têm sugerido três estratégias de controle para minimizar os efeitos do estresse térmico: modificações físicas do ambiente, desenvolvimento genético de raças tolerantes ao calor e melhoria das práticas de manejo nutricional.

SMITH e outros (2001) estudando o efeito da orientação de um galpão de baias livres, “free-stall”, para vacas em lactação, para um período de estresse calórico no verão, concluiu que a diferença entre a temperatura externa e interna do galpão, assim como o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), foi maior para a orientação leste-oeste, do que para a norte-sul. As freqüências respiratórias das vacas foram mais altas em estruturas orientadas no sentido norte-sul comparadas com as leste-oeste, porém a magnitude das diferenças entre as temperaturas do estábulo e externa, bem como o ITU, não explicaram completamente as diferenças nas taxas respiratórias dos animais dos galpões nas duas orientações. Neste caso, outros fatores, tais como, radiação solar, fluxo de ar e estresse animal, devem ter contribuído para as diferenças nas taxas respiratórias.

BUFFINGTON e outros (1981), em estudo realizado com vacas leiteiras onde propuseram o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), também encontraram que a produção de leite de vacas sob estruturas sombreadas foi 10,9% maior que as em instalações sem sombreamento.

Uma estratégia para redução do estresse calórico consiste na utilização de resfriamento evaporativo do ar. ZOLNIER (1991), estudou o efeito das condições ambientais de verão na produção de leite, para animais entre 5 e 30kg.animal⁻¹.dia⁻¹, com e sem utilização de sistema de resfriamento evaporativo, para algumas localidades do estado de Minas Gerais. O autor chegou às seguintes conclusões: a) para animais com níveis produtivos mais baixos, não existe aumento na produção de leite com a implantação do sistema de resfriamento evaporativo, para a maioria das localidades; b) para animais com níveis produtivos de 30kg.animal⁻¹.dia⁻¹, pode ocorrer aumento de cerca de 70kg.animal⁻¹ para um período de 4 meses de desconforto térmico, sendo que esta tendência mostrou-se exponencialmente crescente para níveis de produção mais elevados, como os existentes atualmente em muitas propriedades. Esse mesmo autor conclui que, para a implantação do sistema de resfriamento adiabático evaporativo, devem ser considerados, no mínimo, a presença do estresse calórico constatado a partir da estimativa da redução na produção de leite e o potencial climático da região para o desempenho do sistema.

Para os animais menos produtivos, o sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE) deve ser acionado sob temperaturas ambientais mais elevadas, em comparação com aqueles de maior nível produtivo, que são mais sensíveis ao estresse calórico. Essa diferença na temperatura de acionamento dos equipamentos, também está relacionada às condições climáticas da localidade, indicando que maior atenção deve ser dada, às regiões de menor umidade relativa do ar (ZOLNIER, 1991). Assim sendo, as exigências térmicas variam de acordo com o estágio de desenvolvimento dos animais, bem como do nível de produção, dentre outros.

IGONO (1985), realizando experimento em “free-stall” com gado de leite Holandês, com nível de produção de cerca de $25\text{kg}\cdot\text{animal}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$, obteve um acréscimo de $1,6\text{kg}\cdot\text{animal}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ utilizando nebulização sob abrigo sombreado, e um acréscimo de $2,0\text{kg}\cdot\text{animal}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ utilizando sistema com nebulização e ventilação sob iguais condições de sombreamento, em comparação com um sistema apenas sombreado. O autor também concluiu que o sistema dotado de nebulização e ventilação proporcionou benefícios econômicos e fisiológicos durante o período de verão.

Do ponto de vista nutricional, podem ser feitas modificações na dieta alimentar do animal de forma a manter a ingestão de nutrientes, aumentar a densidade nutricional da dieta, e restabelecer a homeostase. De acordo com WEST (1999), um excesso de proteína degradável na dieta é indesejável devido aos “custos” energéticos para ser metabolizado, e um excesso de nitrogênio, na forma de uréia, no excremento. Neste caso, otimizando a proteína não degradável do rúmen, melhora-se a produção de leite em climas quentes. Uma menor ingestão de matéria seca durante períodos quentes, reduz a disponibilidade de nutrientes para absorção, e os nutrientes absorvidos são usados de forma menos eficiente. Ingredientes da alimentação, tais como, concentrados e óleos favorecem um menor incremento calórico, enquanto que as forragens resultam em grande incremento calórico. Contudo, com a melhoria da densidade energética da dieta e redução do incremento calórico, com inclusão de óleos na mesma, deve-se utilizar a menor quantidade possível de óleo para não causar desordens metabólicas.

Este mesmo autor ressalta que numerosas são as modificações nutricionais possíveis para a alimentação do gado em clima quente, entretanto, muitas necessitam de maiores investigações para definição de recomendações específicas.

2.4. Índices do Ambiente Térmico

Vários índices do ambiente térmico têm sido estabelecidos e usados para prever o conforto ou o desconforto do animal, em relação as condições ambientais. De modo geral, temperatura de bulbo seco e a umidade do ar têm sido os fatores ambientais mais usados. O índice de temperatura e umidade, ITU, originalmente desenvolvido por THOM (1959), foi utilizado pelos órgãos oficiais de climatologia dos Estados Unidos para determinar o índice de conforto ambiente, e é expresso pela equação:

$$ITU = 0,72 (tbs + tbm) + 40,6 \quad (\text{Eq. 01})$$

onde **tbs** é a temperatura de bulbo seco e **tbm** a temperatura de bulbo molhado, ambas em °C.

No entanto, de acordo com BOND e outros (1961), o animal está sempre trocando calor com o ambiente na forma radiante e, neste caso, o ITU não reflete a carga térmica, não sendo adequado para prever o desconforto e a subsequente perda de produção nessas condições.

Em 1981, BUFFINGTON e outros propuseram o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), por considerá-lo mais preciso que o ITU para exprimir o desconforto térmico, devido incorporar os efeitos de umidade, do escoamento do ar, da temperatura do bulbo seco e da radiação. Este índice foi proposto com base no ITU, pela inclusão da temperatura de globo negro (**tgn**) em lugar da **tbs**, resultando na equação:

$$ITGU = 0,72 (tgn + tbm) + 40,6 \quad (\text{Eq. 02})$$

onde **tgn** é a temperatura de globo negro e **tbm** a temperatura de bulbo molhado, ambas em °C.

A temperatura de globo negro é obtida a partir de uma esfera oca de cobre, com 0,5mm de espessura e de 0,15m de diâmetro, enegrecida com tinta preta de alta absorvidade onde, no centro, aloja-se o sensor de um

termômetro, que fornece uma indicação dos efeitos combinados da temperatura, velocidade do ar e da radiação.

De acordo com o NATIONAL WEATHER SERVICE (1976), para o gado de leite Holandês, “Holstein”, valores de ITGU até 74, correspondem a faixa de segurança, de 74 a 78, cuidado, de 79 a 84, extremo cuidado, e para valores superiores a 85, perigo ou emergência.

BAËTA (1985), desenvolveu o Índice de Temperatura Equivalente (ITE), que engloba os efeitos da temperatura, umidade e velocidade do ar. O experimento foi realizado em câmaras climáticas com animais de 23,7kg de leite.animal⁻¹.dia⁻¹. Em geral foi encontrado que, para umidades relativas do ar da ordem de 40%, a máxima temperatura capaz de manter as condições de conforto para estes animais foi em torno de 28°C, e para umidades relativas mais altas, como 80%, a máxima temperatura foi em torno de 23°C, sendo que, em média, observou-se que este valor máximo de temperatura elevava-se de 1°C para cada 0,9m.s⁻¹ de acréscimo na velocidade do ar.

Para o gado de leite Holandês preto e branco, “Holstein”, segundo BAËTA (1985), foi definido como zona de “segurança”, quando as perdas na produção foram mínimas, aquela delimitada pelo valor de ITE igual a 27°C. Para valores entre 27°C e 32°C foi definida uma zona denominada “cuidado”, com as perdas chegando a 6,3%. Para valores entre 32°C e 38°C foi definida uma zona denominada de “extremo cuidado”, com as perdas chegando a 23,7%. Para valores de ITE maiores que 38°C, as perdas cresceram rapidamente.

O Índice de Temperatura Equivalente (ITE), que foi derivado com base em variações na produção de leite corrigida para 3,5% de gordura e variações dos níveis de calor corporal armazenado, é dado pela seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{ITE} = & 27,88 - 0,456 \text{ tbs} + 0,010754 \text{ tbs}^2 - 0,4905 \text{ UR} + \\ & 0,00088 \text{ UR}^2 + 1,1507 \text{ v} - 0,126447 \text{ v}^2 + \\ & 0,019876 \text{ tbs.UR} - 0,046313 \text{ tbs.v}; \end{aligned} \quad (\text{Eq. 03})$$

onde **tbs** é a temperatura do ar em °C; **UR** a umidade relativa do ar em percentagem; e **v** a velocidade do ar em m.s⁻¹. Esta equação é válida para

temperaturas ambientais entre 16°C e 41°C, umidade relativa entre 40% e 90% e velocidades do ar entre 0,5 e 6,5m.s⁻¹.

Outro indicador das condições térmicas ambientais é a carga térmica de radiação (CTR), que, em condições de regime permanente, expressa a carga térmica radiante a que está exposto o globo negro a todos os espaços ou partes da vizinhança. A carga térmica de radiação quantifica a radiação ambiente incidente sobre o animal, com base na temperatura radiante média (TRM), podendo ser obtida, segundo ESMAY (1982), pela equação de Stephan-Boltzmann:

$$CTR = \sigma (TRM)^4 \quad (\text{Eq. 04})$$

onde **CTR** é a carga térmica radiante, (W.m⁻²); σ é a constante de Stephan-Boltzmann, (5,67×10⁻⁸W.m⁻².K⁻⁴); e **TRM** é a temperatura radiante média, (K).

A temperatura radiante média (TRM) é a temperatura de uma circunvizinhança, considerada uniformemente negra, para eliminar o efeito de reflexão, com a qual o corpo (globo negro) troca tanta quantidade de energia quanto o ambiente considerado (BOND e outros, 1954). A TRM pode ser expressa pela equação:

$$TRM = 100 \left[2,51 v^{0,5} (tgn - tbs) + \left(\frac{tgn}{100} \right)^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (\text{Eq. 05})$$

onde **v** é a velocidade do ar em m.s⁻¹; **tgn** é a temperatura de globo negro; e **tbs** é a temperatura de bulbo seco (do ar), ambas em K.

A Eficiência de Resfriamento Evaporativo (EFI), segundo a American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE (1996), é fator importante que deve ser considerado no dimensionamento e manejo do sistema de resfriamento evaporativo, dada por:

$$EFI = \frac{tbs - tbs'}{tbs - tbm} 100 \quad (\text{Eq. 06})$$

onde **EFI** é a eficiência de resfriamento evaporativa em %; **tbs** é a temperatura de bulbo seco e **tbm** é a temperatura de bulbo molhado, ambas na entrada do sistema de resfriamento evaporativo e em °C; **tbs'** é a temperatura de bulbo seco na saída do sistema de resfriamento evaporativo, em °C.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Mateira, no município de Sacramento, Minas Gerais, durante o período de janeiro a abril de 2001.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Aw, isto é, tropical quente e úmido com inverno frio e seco. A temperatura média anual é 22°C e a precipitação média anual é de 1.334mm.

A fazenda produz leite tipo B com animais da raça Holandesa, puros de origem (PO) e puros por cruza (PC), em sistema de confinamento do tipo “bairas livres”, recebendo alimentação do tipo ração total, composta de silagem de milho ou girassol e concentrado, três vezes ao dia.

No experimento foi utilizado um galpão aberto, com saídas para piquetes, que funcionavam como solário e permitiam o exercício dos animais.

3.1. Características do Galpão

O galpão experimental, com orientação leste-oeste, possuía 65,60m de comprimento, 11,10m de vão, 3,50m de pé-direito e 2,80m de beiral, telhado com estrutura metálica, cobertura de alumínio com película refletora na parte superior (pintura), com 11° de inclinação e pequena abertura na cumeeira, conforme Figuras 01, 02 e 03.

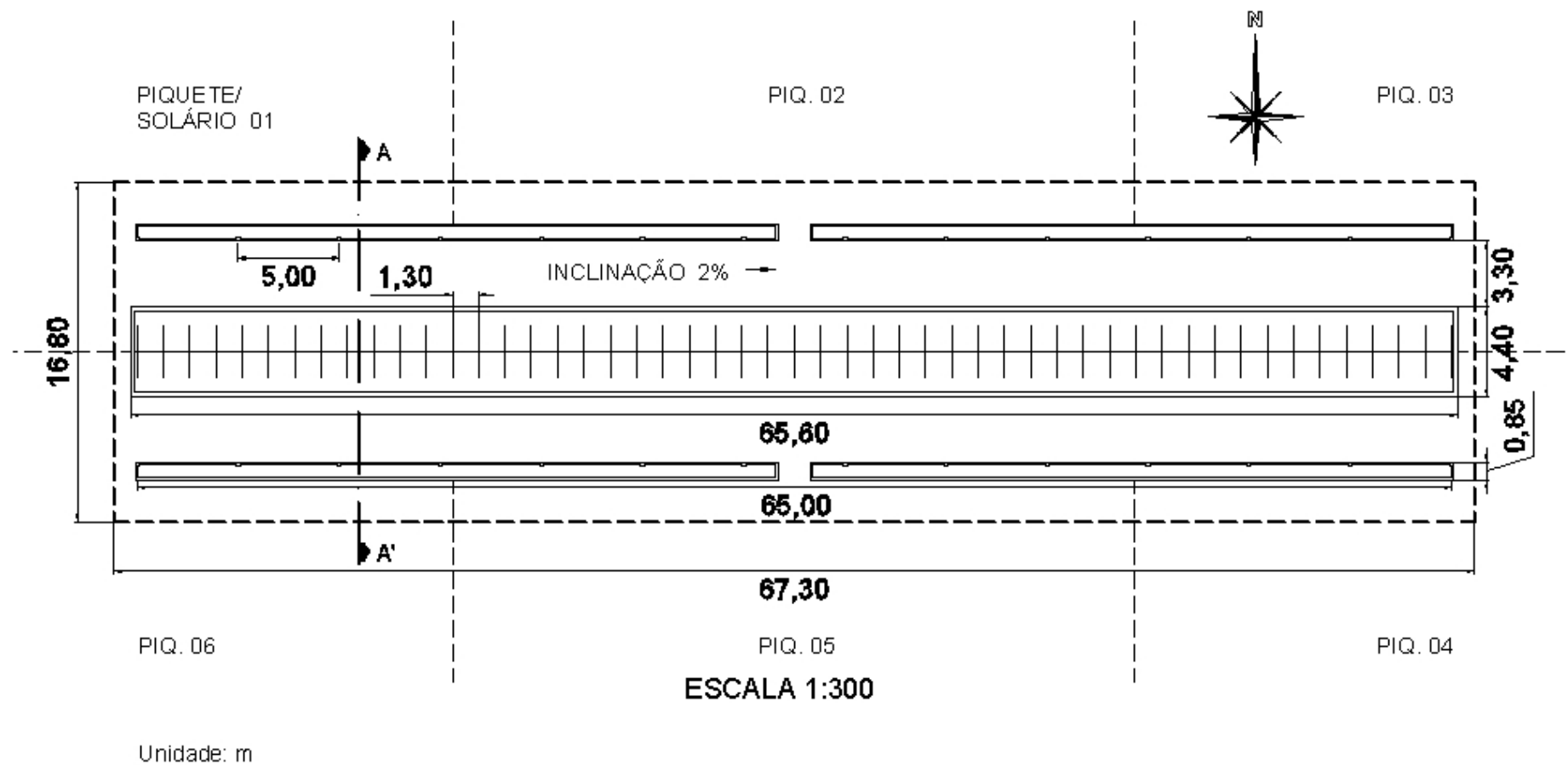


FIGURA 01 – Planta Baixa do Galpão de Baias Livres Utilizado no Experimento.

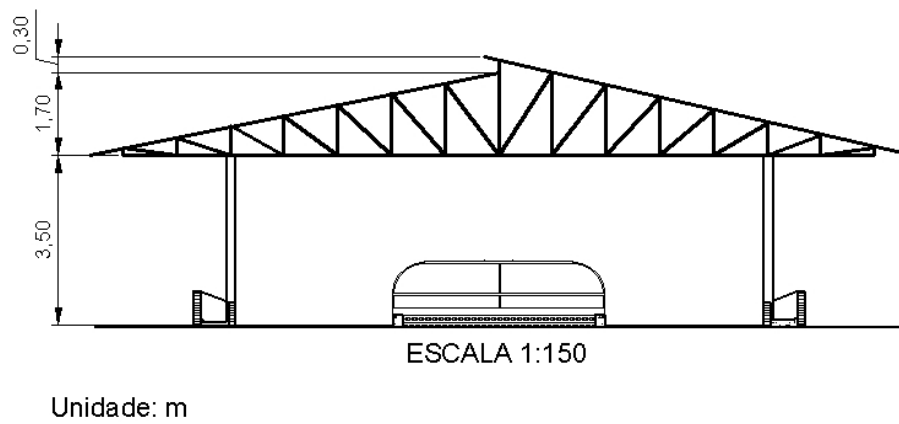


FIGURA 02 – Corte AA' do Galpão de Baias Livres Utilizado no Experimento.



FIGURA 03 - Vista do Galpão de Baias Livres Utilizado no Experimento.

3.2. Tratamentos

Para o experimento foram considerados três tratamentos: nebulização (sem ventilação forçada), nebulização+ventilação (nebulização associada a ventilação forçada), e a testemunha (sem nenhum sistema de acondicionamento artificial). Para tanto o galpão foi dividido transversalmente em três partes, por meio de filmes de polietileno (lona preta), do piso à cobertura, conforme apresentado na Figura 06.

Os tratamentos foram dispostos ao acaso, dentro do galpão, atendendo o delineamento estatístico em blocos inteiramente casualizados, definido na metodologia.

3.3. Sistema de Climatização

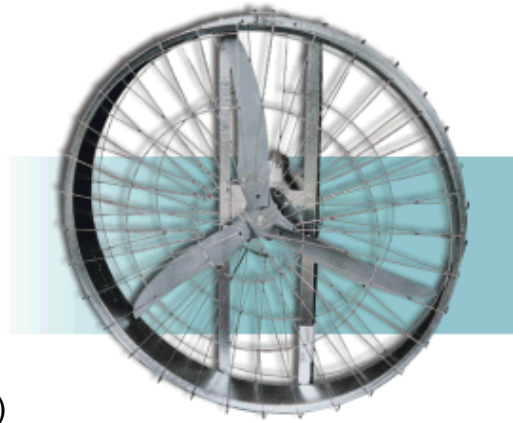
A nebulização e a ventilação foram obtidas empregando-se equipamentos disponíveis no mercado, que são comumente aplicados à avicultura e suinocultura, devido ao seu menor custo em relação aos outros sistemas de climatização. O sistema de nebulização empregado foi o de média pressão, 600kPa, com três linhas de água e bicos do tipo cerâmico com vazão de $6L.h^{-1}$ (Figura 04a), espaçados de 2,00m (Figura 06), a altura de 3,50m (linha das tesouras).

As linhas de nebulizadores do tratamento nebulização foram espaçadas de 5,00m, enquanto que no tratamento nebulização+ventilação foram posicionadas próximas aos ventiladores, espaçadas de 4,20m conforme Figura 06, objetivando com que a água nebulizada fosse forçada pelos ventiladores a percorrer o tratamento de um lado ao outro, com maior eficiência.

Os ventiladores utilizados, em número de seis, foram do tipo axial, com 1,00m de diâmetro e vazão de $280m^3.min^{-1}$, Figura 04b, dispostos em duas linhas, espaçadas de 8,00m, uma na lateral do galpão e outra no centro do mesmo, posicionados a 2,80m de altura do eixo ao piso, com o fluxo de ar a 90° em relação ao eixo longitudinal do galpão e inclinados para baixo 20° em relação à horizontal, conforme Figuras 05 e 06.



a)



b)

FIGURA 04 – Nebulizador e Ventilador Utilizados no Experimento.



Os equipamentos de ventilação e nebulização foram assim dispostos em razão das condições impostas pelo experimento.

Os sistemas de climatização utilizados foram acionados por controladores automáticos de temperatura e umidade, individuais para cada tratamento. Como havia somente uma bomba, fez-se uso de válvulas solenóides para abertura e fechamento do fluxo de água nas tubulações. Desta forma, os controladores acionavam a nebulização e ventilação, de forma independente, quando a temperatura interna do ar de cada tratamento ultrapassava 23°C, desde que a umidade relativa não ultrapassasse 80%. Esta temperatura foi assumida com o objetivo de combater o estresse calórico a partir da termoneutralidade, conforme BAËTA (1985).

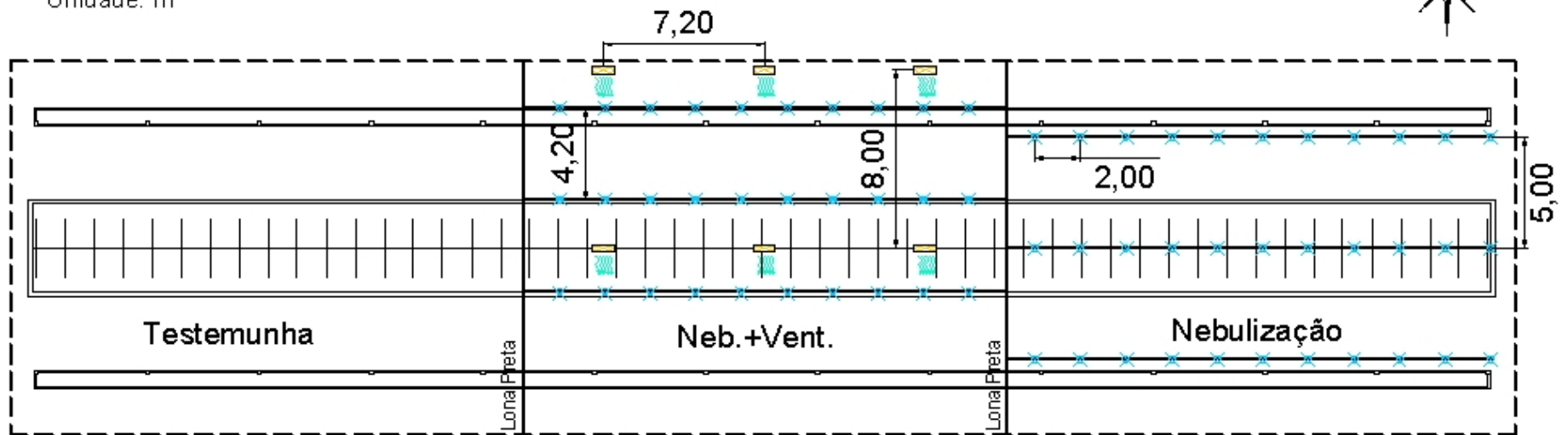


FIGURA 05 – Vista Mostrando o Tratamento Nebulização+Ventilação.

Legenda:

	Ventilador
	Bicos Nebulizadores

Unidade: m



ESCALA 1:300

FIGURA 06 – Planta Baixa Mostrando a Distribuição dos Tratamentos ao Longo do Galpão.

3.4. Caracterização dos Animais

Para caracterização das respostas fisiológicas animais correspondentes aos três tratamentos foram definidos aleatoriamente grupos de cinco animais dentre aqueles que possuíam as mais próximas características de raça, idade, número de partições, data da última partição e média produtiva.

3.5. Instrumentos e Medições

Os efeitos de cada tratamento foram observados a partir de um período padrão inicial de oito dias, no qual todos os animais ficaram sob as mesmas condições, com todos os equipamentos de ventilação e nebulização desligados, seguido de período experimental de igual duração.

As leituras de temperatura de bulbo seco e de bulbo molhado foram feitas em psicrômetros não aspirados, instalados a altura de 0,80m do piso, neste caso considerando o centro de massa das vacas, no centro de cada unidade experimental e dentro do abrigo meteorológico, em intervalos de duas horas, de 0:00 às 24:00 horas, a cada dois dias, conforme Figura 07.



FIGURA 07 – Vista Mostrando o Tratamento Testemunha e Alguns Instrumentos Utilizados.

Para as leituras de temperatura de globo negro, nos mesmos dias e horários, os instrumentos foram instalados nas proximidades de cada psicrômetro no interior do galpão e ao lado do abrigo meteorológico, no exterior.

A velocidade do ar foi obtida com o uso de anemômetro digital de hélices e as leituras feitas nos mesmos locais e horários mencionados anteriormente.

Os registros de produção de leite foram feitos nos três últimos dias do período pré-experimental e nos 5 últimos dias do período experimental, três vezes ao dia, às 5:00, 12:00 e 17:00 horas.

Nos dias de coleta de dados mencionados anteriormente a frequência respiratória dos animais foi obtida a partir de observação direta e uso de cronômetro, e a temperatura retal empregando-se termômetro clínico, às 7:00 e às 15:00 horas.

Com base nos resultados experimentais foram calculados o Índice de Temperatura Equivalente (ITE), proposto por BAËTA (1985); o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), definido por BUFFINGTON (1981); a Carga Térmica de Radiação (CTR), segundo ESMAY (1982); a Umidade Relativa do Ar (UR); a Eficiência do Resfriamento Evaporativo (EFI); a Frequência Respiratória (FR); a Temperatura Retal (TR); e a Produção de Leite (PL).

3.6. Delineamento e Análise Estatística

Para os dados do ambiente, considerou-se um esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos (testemunha, nebulização e nebulização+ventilação) e nas subparcelas os horários (de 0:00 às 24:00 horas de duas em duas horas) no delineamento em blocos casualizados, onde foram considerados nove repetições (dias experimentais), em dois períodos experimentais.

Os dados foram analisados por meio de análise de variância. Para o fator qualitativo (sistemas de resfriamento) as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para as respostas fisiológicas dos animais, utilizou-se a estatística descritiva.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dados do Ambiente

Os dados numéricos relativos ao meio ambiente, para cada tratamento, correspondente aos dois períodos experimentais, são apresentados nos Quadros 02, 03, 04 e 05.

QUADRO 02 – Valores Médios e Desvios Padrão da Temperatura de Bulbo Seco (*t_{bs}*), em °C, para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.), Testemunha (Test.) e Ambiente Externo (Ext.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

HORÁRIO	Neb.	Neb.+Vent.	Test.	Ext.
0:00	19,3 ± 1,1	18,2 ± 0,8	18,9 ± 1,0	19,1 ± 1,1
2:00	19,1 ± 0,8	17,8 ± 0,6	18,5 ± 1,0	18,8 ± 1,1
4:00	19,1 ± 1,0	17,6 ± 0,8	18,3 ± 1,1	18,4 ± 1,1
6:00	19,0 ± 1,2	17,2 ± 0,9	18,2 ± 1,2	18,3 ± 1,3
8:00	23,2 ± 1,1	21,2 ± 1,0	22,7 ± 0,7	23,5 ± 1,3
10:00	26,2 ± 0,9	22,6 ± 1,5	25,8 ± 0,9	27,4 ± 0,9
12:00	26,4 ± 1,8	24,7 ± 1,6	28,2 ± 0,8	29,3 ± 0,6
14:00	26,8 ± 2,5	25,1 ± 1,8	28,5 ± 1,1	29,5 ± 1,0
16:00	25,6 ± 1,9	24,6 ± 1,4	28,6 ± 1,2	29,4 ± 1,0
18:00	22,8 ± 2,1	20,6 ± 1,7	23,7 ± 2,6	25,5 ± 2,4
20:00	21,2 ± 1,6	19,7 ± 1,4	20,7 ± 1,6	21,3 ± 1,4
22:00	20,6 ± 1,3	19,2 ± 1,0	19,9 ± 1,2	20,5 ± 1,2
24:00	19,9 ± 1,3	18,8 ± 1,2	19,7 ± 1,2	19,9 ± 1,4

QUADRO 03 – Valores Médios e Desvios Padrão da Umidade Relativa do Ar (*UR*), em %, para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.), Testemunha (Test.) e Ambiente Externo (Ext.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

HORÁRIO	Neb.	Neb.+Vent.	Test.	Ext.
0:00	86,7 ± 4,4	88,2 ± 6,1	87,9 ± 3,2	84,0 ± 4,8
2:00	85,2 ± 2,8	89,9 ± 5,7	89,6 ± 3,0	85,7 ± 3,8
4:00	84,4 ± 3,0	90,9 ± 5,0	90,6 ± 4,4	87,0 ± 5,0
6:00	85,2 ± 2,6	90,7 ± 4,1	91,5 ± 5,3	86,0 ± 5,8
8:00	76,2 ± 4,4	82,3 ± 7,9	80,3 ± 3,8	71,5 ± 6,4
10:00	68,0 ± 5,8	79,1 ± 10,3	70,2 ± 6,0	58,8 ± 6,4
12:00	69,1 ± 8,5	68,7 ± 11,0	61,8 ± 6,5	51,8 ± 4,9
14:00	69,6 ± 11,0	68,3 ± 10,7	60,4 ± 5,5	52,3 ± 4,9
16:00	74,1 ± 9,9	69,4 ± 8,5	60,5 ± 5,9	52,2 ± 6,3
18:00	86,8 ± 5,6	90,3 ± 8,0	82,4 ± 6,2	67,3 ± 5,4
20:00	81,7 ± 2,3	86,4 ± 5,8	85,3 ± 3,2	77,6 ± 4,1
22:00	80,6 ± 3,5	85,3 ± 5,7	86,4 ± 4,0	78,1 ± 3,7
24:00	82,9 ± 2,0	86,1 ± 5,5	85,8 ± 2,1	80,4 ± 3,5

QUADRO 04 – Valores Médios e Desvios Padrão da Temperatura de Globo Negro (*tgn*), em °C, para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.), Testemunha (Test.) e Ambiente Externo (Ext.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

HORÁRIO	Neb.	Neb.+Vent.	Test.	Ext.
0:00	18,7 ± 1,1	18,8 ± 1,0	19,1 ± 1,0	18,2 ± 1,1
2:00	18,4 ± 1,0	18,4 ± 0,9	18,7 ± 1,0	18,1 ± 1,3
4:00	18,6 ± 0,9	18,2 ± 1,0	18,5 ± 1,0	17,9 ± 1,2
6:00	18,6 ± 1,0	18,1 ± 1,0	18,5 ± 1,0	17,7 ± 1,4
8:00	23,2 ± 0,8	22,3 ± 0,9	23,8 ± 0,9	34,2 ± 4,5
10:00	25,9 ± 1,2	22,2 ± 1,4	27,4 ± 1,3	42,2 ± 2,8
12:00	26,2 ± 1,6	24,4 ± 1,9	30,3 ± 1,3	46,9 ± 5,1
14:00	26,3 ± 2,5	24,8 ± 1,8	30,1 ± 1,3	46,1 ± 5,5
16:00	25,2 ± 1,7	24,0 ± 1,9	30,1 ± 1,3	42,4 ± 7,9
18:00	22,9 ± 3,5	20,7 ± 1,4	25,1 ± 3,7	23,4 ± 3,3
20:00	20,7 ± 1,0	20,7 ± 1,1	21,1 ± 1,3	19,9 ± 1,6
22:00	19,9 ± 1,1	19,9 ± 1,0	20,3 ± 1,1	19,2 ± 1,1
24:00	19,6 ± 1,2	19,4 ± 1,3	19,9 ± 1,2	19,0 ± 1,8

QUADRO 05 – Valores Médios e Desvios Padrão da Velocidade do Ar (v), em $m.s^{-1}$, para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.), Testemunha (Test.) e Ambiente Externo (Ext.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

HORÁRIO	Neb.	Neb.+Vent.	Test.	Ext.
0:00	0,5 ± 0,4	0,1 ± 0,2	0,1 ± 0,2	0,6 ± 0,4
2:00	0,6 ± 0,4	0,1 ± 0,1	0,0 ± 0,0	0,7 ± 0,6
4:00	0,6 ± 0,4	0,2 ± 0,2	0,1 ± 0,2	0,9 ± 0,8
6:00	0,7 ± 0,6	0,3 ± 0,4	0,0 ± 0,1	1,3 ± 1,4
8:00	1,5 ± 0,6	0,6 ± 0,9	0,2 ± 0,2	2,3 ± 1,2
10:00	1,2 ± 0,6	1,5 ± 0,9	0,9 ± 0,6	2,8 ± 1,1
12:00	0,8 ± 0,9	1,8 ± 0,8	0,4 ± 0,4	1,3 ± 1,1
14:00	0,3 ± 0,5	1,7 ± 0,9	0,3 ± 0,5	1,4 ± 1,0
16:00	0,3 ± 0,5	1,8 ± 1,0	0,3 ± 0,5	1,1 ± 0,9
18:00	0,1 ± 0,2	0,9 ± 1,1	0,0 ± 0,1	0,0 ± 0,1
20:00	0,3 ± 0,3	0,0 ± 0,1	0,0 ± 0,1	0,4 ± 0,4
22:00	0,3 ± 0,3	0,1 ± 0,1	0,0 ± 0,1	0,3 ± 0,4
24:00	0,6 ± 0,7	0,2 ± 0,5	0,1 ± 0,4	0,7 ± 0,7

No Quadro 06 encontra-se o resumo das análises de variância para o Índice de Temperatura Equivalente (ITE), Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), Carga Térmica de Radiação (CTR) e Umidade Relativa do ar (UR).

Como se pode observar no Quadro 06, os efeitos dos tratamentos, horários de observação e interação horários x tratamentos, para as variáveis Índice de Temperatura Equivalente (ITE), Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), Carga Térmica de Radiação (CTR) e Umidade Relativa do ar (UR) foram significativos ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 06 – Resumo das Análises de Variância Referentes ao Efeito dos Tratamentos, Horários de Observação e Interação Horários x Tratamentos, em Relação ao Índice de Temperatura Equivalente (ITE), Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), Carga Térmica de Radiação (CTR) e Umidade Relativa do Ar (UR).

FV	GL	Quadrados Médios			
		ITE	ITGU	CTR	UR
Bloco	8	93,6961	64,7468	2402,1930	507,9401
Tratamentos (T)	3	201,2215**	1289,5200**	477329,7000**	2532,7410**
Resíduo (a)	24	3,0370	7,2335	1983,7210	80,47196
Horários (H)	12	872,5957**	1394,3140**	138551,1000**	3625,0800**
H x T	36	22,5582**	217,6309**	66596,4000**	154,4882**
Resíduo (b)	384	2,1363	4,9011	2216,6130	22,3804
CV (%) parcela		7,32	3,76	9,63	11,46
CV (%) subparcela		6,14	3,09	10,18	6,04

** - Significativo a 1% de Probabilidade

No Quadro 07 encontra-se o resumo da análise de variância para a eficiência do resfriamento evaporativo do ar (EFI), onde foram encontrados significância ao nível de 1% de probabilidade para os efeitos, tratamentos, horários de observação e interação horários x tratamentos.

QUADRO 07 – Resumo da Análise de Variância Referente ao Efeito dos Tratamentos, Horários de Observação e Interação Horários x Tratamentos, em Relação à Eficiência do Resfriamento Evaporativo do Ar (EFI).

FV	GL	Quadrados Médios EFI
Bloco	8	1091,7490
Tratamentos (T)	1	106915,8000**
Resíduo (a)	8	1691,5200
Horários (H)	12	4052,3100**
H x T	12	1071,4340**
Resíduo (b)	192	258,5009
CV (%) parcela		106,22
CV (%) subparcela		41,52

** - Significativo a 1% de Probabilidade

4.1.1. Índice de Temperatura Equivalente (ITE)

No Quadro 08 encontram-se os valores médios de ITE. De forma geral, o tratamento nebulização+ventilação possibilitou estatisticamente melhores condições térmicas ambientais do que os tratamentos nebulização e testemunha, que por sua vez foram melhores do que o ambiente externo.

No Quadro 08 estão enfatizados os valores do índice entre 27°C e 32°C (condições que requerem cuidado) e acima de 32 (condições que requerem extremo cuidado), estabelecido por BAËTA (1985).

Em média o tratamento nebulização+ventilação proporcionou uma menor exposição dos animais ao estresse calórico, ultrapassando em apenas dois décimos o limite de segurança por um curto período de tempo. O tratamento nebulização submeteu os animais a uma situação de cuidado por um período médio de oito horas e a testemunha por um período de dez horas diárias, enquanto que no ambiente externo os animais estariam submetidos a quatro horas na zona de cuidado e seis horas na zona de extremo cuidado.

QUADRO 08 – Valores Médios do Índice de Temperatura Equivalente (ITE), em °C, para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.), Testemunha (Test.) e Ambiente Externo (Ext.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

HORÁRIO	Neb.	Neb.+Vent.	Test.	Ext.
0:00	20,6 a	18,7 b	19,9 ab	18,4 b
2:00	20,1 a	18,0 b	19,2 ab	18,0 b
4:00	20,0 a	17,6 b	18,8 ab	17,6 b
6:00	19,9 a	17,1 b	18,6 ab	17,3 b
8:00	25,7 b	23,3 c	25,6 b	27,7 a
10:00	29,1 b	24,9 c	28,9 b	31,9 a
12:00	29,6 b	26,7 c	31,2 b	34,2 a
14:00	30,2 b	27,2 c	31,3 b	34,6 a
16:00	29,2 c	26,7 d	31,5 b	33,6 a
18:00	26,5 ab	22,7 c	27,4 a	25,5 b
20:00	23,3 a	21,1 b	22,7 ab	21,1 b
22:00	22,2 a	20,3 bc	21,6 ab	19,6 c
24:00	21,4 a	19,6 ab	21,0 ab	19,3 b

Zona de Segurança (18 – 27°C)

Zona de Cuidado (27 – 32°C)

Zona de Extremo Cuidado (32 – 38°C)

As Médias Seguidas de pelo Menos uma Mesma Letra na Linha não Diferem entre si ao Nível de 5% de Probabilidade pelo Teste de Tukey.

Na Figura 08 estão representados os resultados médios dos valores calculados do Índice de Temperatura Equivalente ao longo do dia para os tratamentos (nebulização, nebulização+ventilação, e testemunha) e ambiente externo.

Observa-se na figura que no intervalo de 10:00 às 16:00 horas, período quente do dia, o tratamento nebulização+ventilação conduziu aos menores valores do índice, em torno de 26°C; o tratamento nebulização possibilitou valores do índice em torno de 29°C e a testemunha, 31°C, enquanto que no exterior os valores do índice foram cerca de 34°C. Pode-se notar, também, que o tratamento nebulização+ventilação conduziu aos menores valores do índice durante todo o período diurno.

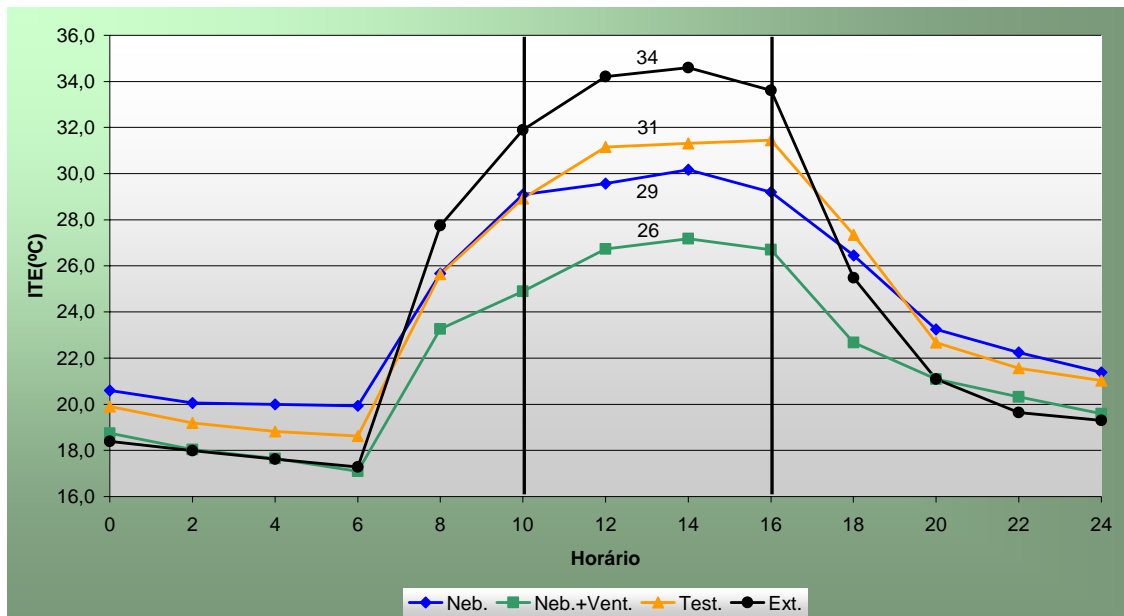


FIGURA 08 – Valores Médios do Índice de Temperatura Equivalente (ITE), em °C, para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.), Testemunha (Test.) e Ambiente Externo (Ext.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

4.1.2. Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU)

O Quadro 09 apresenta os valores médios de ITGU, acompanhados de análise estatística, onde foram enfatizados os valores do índice entre 74 e 78 (condições que requerem cuidado), entre 79 e 84 (condições que requerem extremo cuidado) e acima de 85 (condições consideradas de perigo), estabelecido pelo NATIONAL WEATHER SERVICE (1976).

Em média o tratamento nebulização+ventilação manteve os animais numa zona de segurança, fora do estresse calórico durante todo o tempo, presumivelmente proporcionando aos animais condições para máxima produtividade leiteira. O tratamento nebulização manteve os animais na zona de cuidado por um período médio de oito horas e a testemunha por um período de duas horas na zona de cuidado e seis horas na zona de extremo cuidado, enquanto que no ambiente externo os animais estariam submetidos a duas horas na zona de extremo cuidado e oito horas na zona de perigo. De fato, os animais do tratamento testemunha estiveram, grande parte do tempo, sob alto grau de ofegação.

QUADRO 09 – Valores Médios do Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.), Testemunha (Test.) e Ambiente Externo (Ext.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

HORÁRIO	Neb.	Neb. + Vent.	Test.	Ext.
0:00	66,3 a	66,0 a	66,6 a	65,3 a
2:00	65,8 a	65,7 a	66,2 a	65,1 a
4:00	65,9 a	65,4 a	65,9 a	64,9 a
6:00	66,0 a	65,2 a	66,0 a	64,7 a
8:00	71,4 b	70,2 b	72,2 b	83,0 a
10:00	74,5 b	70,3 c	76,0 b	91,8 a
12:00	75,0 c	72,5 c	79,1 b	96,5 a
14:00	75,2 c	73,0 c	78,8 b	95,9 a
16:00	74,0 c	72,1 c	78,8 b	91,8 a
18:00	71,7 a	68,9 b	73,9 a	71,7 a
20:00	68,6 a	68,3 a	69,0 a	67,5 a
22:00	67,5 a	67,4 a	68,0 a	66,5 a
24:00	67,1 a	66,8 a	67,5 a	66,2 a

Zona de Segurança (< 74)
Zona de Cuidado (74 – 78)
Zona de Extremo Cuidado (79 – 84)
Zona de Perigo (> 85)

As Médias Seguidas de pelo Menos uma Mesma Letra na Linha não Diferem entre si ao Nível de 5% de Probabilidade pelo Teste de Tukey.

De acordo com o NATIONAL WEATHER SERVICE (1976), valores do índice até 74 são considerados não estressantes para o gado leiteiro Holandês. No período quente do dia, o tratamento nebulização+ventilação e o tratamento nebulização foram melhores estatisticamente que o tratamento testemunha, que por sua vez foi melhor que os valores do índice calculados para o ambiente externo.

Na Figura 09 estão representados os resultados médios dos valores calculados do Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade ao longo do dia para os tratamentos (nebulização, nebulização+ventilação, e testemunha) e ambiente externo.

Observa-se na figura que, no intervalo de 10:00 às 16:00 horas, o tratamento nebulização+ventilação conduziu a uma média do índice, no intervalo, em torno de 72, enquanto que o tratamento nebulização conduziu a valores do índice em torno de 75 e a testemunha, 78. No exterior, para o período considerado, os valores médios do índice foram cerca de 94, mostrando uma grande diferença entre o ambiente externo e os tratamentos,

incluindo a testemunha. Este último resultado comprova a grande melhoria no ambiente térmico dos animais ao mantê-los sob cobertura.

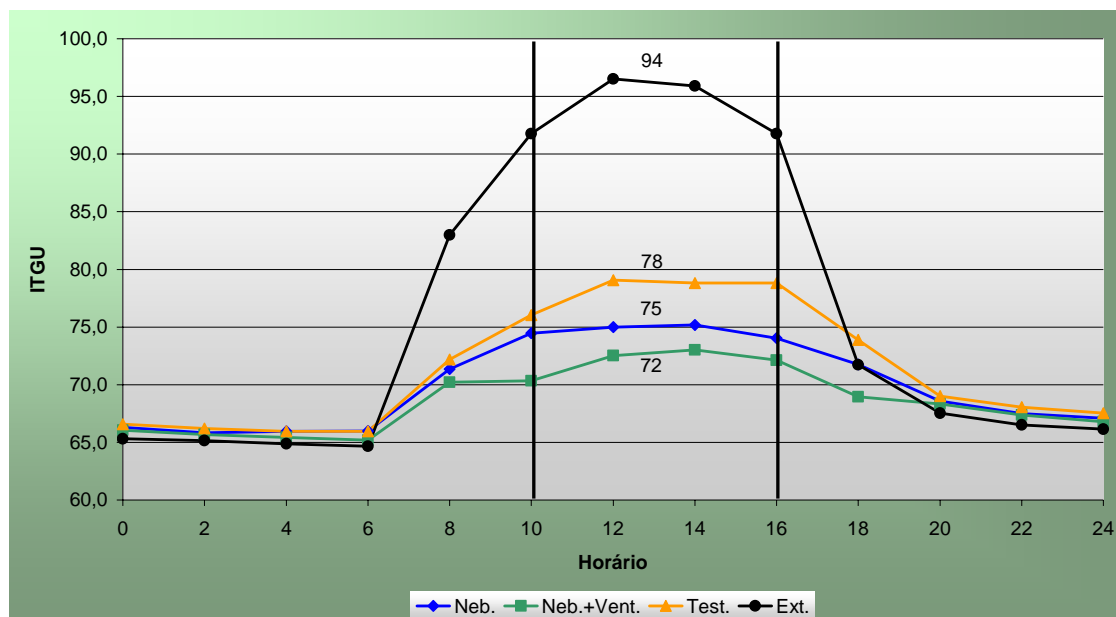


FIGURA 09 – Valores Médios do Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.), Testemunha (Test.) e Ambiente Externo (Ext.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

Em geral, os resultados de ITGU apresentaram mesma tendência que os de ITE, porém com a verificação de maiores amplitudes entre os menores e os maiores valores de ITGU. Isto provavelmente se deve ao fato de que o ITGU considera a temperatura de globo negro em seus cálculos, variável grandemente influenciada pela carga térmica radiante.

4.1.3. Carga Térmica de Radiação (CTR)

Os valores médios horários de Carga Térmica de Radiação (CTR), em $W.m^{-2}$, incluindo as duas fases experimentais, estão apresentados no Quadro 10. Na Figura 10 estão representados os resultados médios destes valores, de 0:00 às 24:00 horas, para os tratamentos (nebulização, nebulização+ventilação, e testemunha) e para o ambiente externo.

Com base no Quadro 10 e Figura 10, no período quente do dia, 10:00 às 16:00 horas, de modo geral, os resultados de Carga Térmica de Radiação (CTR) relativos aos tratamentos nebulização, nebulização+ventilação e testemunha não diferiram significativamente entre si, contudo, o tratamento nebulização+ventilação apresentou uma tendência de menores valores em

relação ao tratamento nebulização, que por sua vez foi melhor que a testemunha. No período citado, todos os tratamentos foram melhores, do ponto de vista de conforto térmico, que o ambiente externo.

Observa-se na Figura 10 que no intervalo de 10:00 às 16:00 horas, o tratamento nebulização+ventilação permitiu os menores valores de CTR, em torno de 430W.m^{-2} em média para o período considerado; o tratamento nebulização possibilitou valores em torno de 450W.m^{-2} e a testemunha, 490W.m^{-2} , enquanto que no exterior os valores foram de cerca de 800W.m^{-2} . De fato, no Quadro 10, pode-se notar também que, o tratamento nebulização+ventilação possibilitou as menores médias, porém, sem diferir estatisticamente, do tratamento nebulização.

A CTR, que representa a carga térmica radiante a que os animais são submetidos, e que é função direta da temperatura dos elementos da circunvizinhança, vem mais uma vez reforçar o benefício do resfriamento evaporativo do tratamento nebulização+ventilação em comparação com o tratamento nebulização e testemunha.

QUADRO 10 – Valores Médios da Carga Térmica de Radiação (CTR), em W.m^{-2} , para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.), Testemunha (Test.) e Ambiente Externo (Ext.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

HORÁRIO	Neb.	Neb.+Vent.	Test.	Ext.
0:00	405,6 a	413,3 a	413,4 a	410,2 a
2:00	403,4 a	412,4 a	411,5 a	411,3 a
4:00	406,7 a	411,7 a	411,1 a	410,8 a
6:00	407,7 a	412,0 a	410,3 a	408,1 a
8:00	438,0 b	441,8 b	446,7 b	708,9 a
10:00	450,1 bc	420,7 c	483,2 b	858,7 a
12:00	451,2 b	439,4 b	490,7 b	811,3 a
14:00	453,0 b	442,7 b	486,1 b	819,8 a
16:00	446,5 bc	429,2 c	486,7 b	716,8 a
18:00	434,7 a	421,3 a	449,2 a	439,1 a
20:00	421,1 a	424,6 a	424,8 a	420,0 a
22:00	414,0 a	420,4 a	421,1 a	415,4 a
24:00	410,5 a	418,1 a	419,0 a	417,3 a

As Médias Seguidas de pelo Menos uma Mesma Letra na Linha não Diferem entre si ao Nível de 5% de Probabilidade pelo Teste de Tukey.

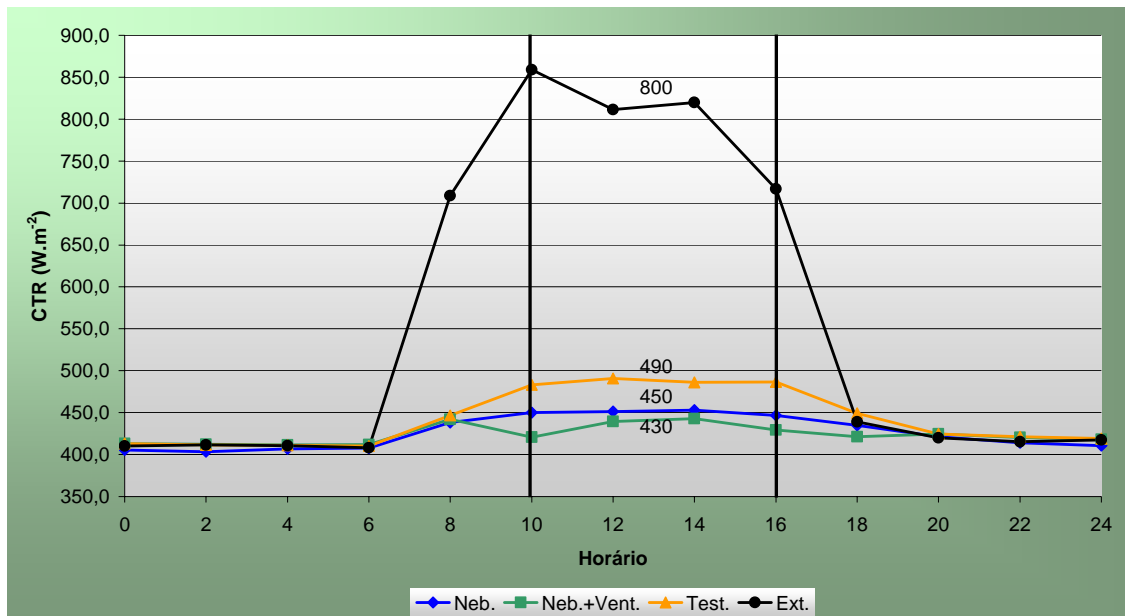


FIGURA 10 – Valores Médios da Carga Térmica de Radiação (CTR), em $W.m^{-2}$, para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.), Testemunha (Test.) e Ambiente Externo (Ext.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

4.1.4. Umidade Relativa do Ar (UR)

No Quadro 11 encontram-se os valores médios de UR, onde, de modo geral, o tratamento nebulização+ventilação e o tratamento nebulização apresentaram, estatisticamente, maiores valores de UR que o tratamento testemunha, que por sua vez apresentou maiores valores que o ambiente externo.

A Figura 11 mostra os resultados médios dos valores calculados de Umidade Relativa ao longo do dia para os tratamentos (nebulização, nebulização+ventilação, e testemunha) e ambiente externo.

Observa-se na Figura 11 que no período quente do dia, de 10:00 às 16:00 horas, o tratamento nebulização+ventilação conduziu aos valores de UR em torno de 71%; enquanto que o tratamento nebulização possibilitou valores em torno de 70% e a testemunha, 63%. No exterior os valores foram em torno de 54%.

A umidade relativa dos sistemas dotados de resfriamento evaporativo (nebulização e nebulização+ventilação) tiveram os valores mais altos, como era de se esperar, em razão da adição continuada de água no ambiente.

QUADRO 11 – Valores Médios de Umidade Relativa do Ar (*UR*), em %, para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.), Testemunha (Test.) e Ambiente Externo (Ext.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

HORÁRIO	Neb.	Neb.+Vent.	Test.	Ext.
0:00	86,7 a	88,2 a	87,9 a	84,0 a
2:00	85,2 a	89,9 a	89,6 a	85,7 a
4:00	84,4 b	90,9 a	90,6 ab	87,0 ab
6:00	85,2 b	90,7 ab	91,5 a	86,0 ab
8:00	76,2 ab	82,3 a	80,3 a	71,5 b
10:00	68,0 b	79,1 a	70,2 b	58,8 c
12:00	69,1 a	68,7 a	61,8 b	51,8 c
14:00	69,6 a	68,3 a	60,4 b	52,3 c
16:00	74,1 a	69,4 a	60,5 b	52,2 c
18:00	86,8 ab	90,3 a	82,4 b	67,3 c
20:00	81,7 ab	86,4 a	85,3 a	77,6 b
22:00	80,6 ab	85,3 a	86,4 a	78,1 b
24:00	82,9 a	86,1 a	85,8 a	80,4 a

As Médias Seguidas de pelo Menos uma Mesma Letra na Linha não Diferem entre si ao Nível de 5% de Probabilidade pelo Teste de Tukey.

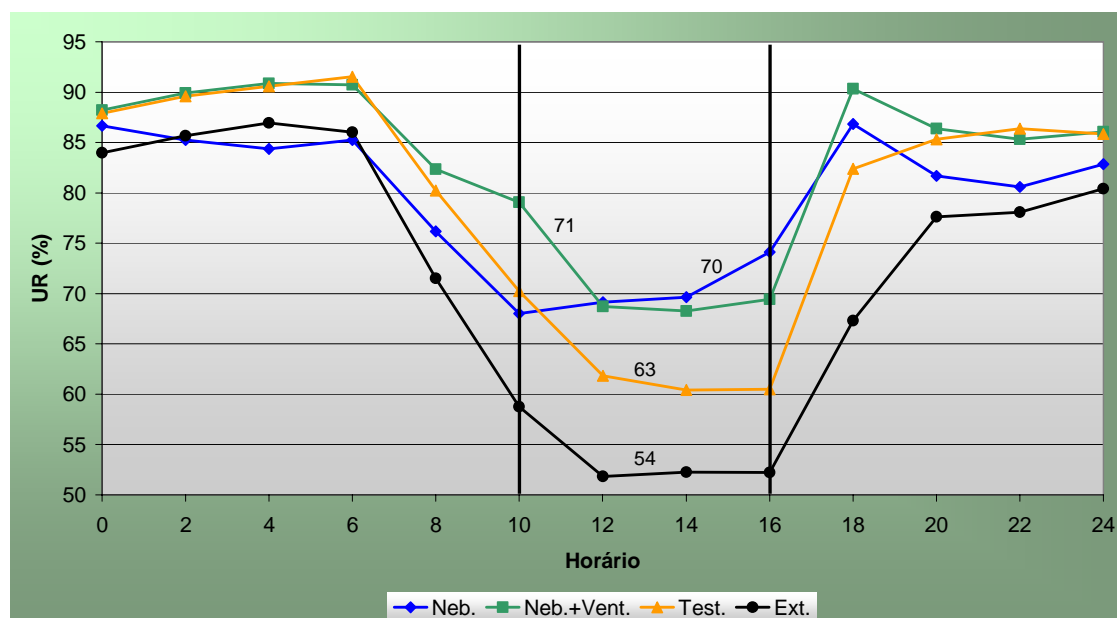


FIGURA 11 – Valores Médios de Umidade Relativa do Ar (*UR*), em %, para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.), Testemunha (Test.) e Ambiente Externo (Ext.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

4.1.5. Eficiência do Resfriamento Evaporativo (EFI)

No Quadro 12 encontram-se os valores médios de eficiência do sistema de resfriamento evaporativo, onde observa-se que, com exceção das 16:00 horas, a eficiência do sistema de resfriamento evaporativo do tratamento nebulização+ventilação foi estatisticamente melhor que a do tratamento nebulização.

QUADRO 12 – Valores Médios de Eficiência do Resfriamento Evaporativo (EFI), em %, de 8:00 às 18:00 horas para os Tratamentos Nebulização (Neb.) e Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb+Vent.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

HORÁRIO	Neb.	Neb.+Vent.
8:00	8,8 b	56,1 a
10:00	19,8 b	77,1 a
12:00	35,7 b	60,2 a
14:00	35,2 b	57,5 a
16:00	48,8 a	62,4 a
18:00	55,3 b	92,9 a

As Médias Seguidas de pelo Menos uma Mesma Letra na Linha não Diferem entre si ao Nível de 5% de Probabilidade pelo Teste de Tukey.

A Figura 12 mostra os resultados médios dos valores calculados de eficiência do resfriamento evaporativo, no intervalo de 8:00 às 18:00 horas, período de funcionamento dos equipamentos, para os tratamentos nebulização e nebulização+ventilação.

Observa-se na Figura 12 que o tratamento nebulização+ventilação conduziu aos melhores valores de EFI, 68% em média, quando comparado com o tratamento nebulização, cujos valores estiveram em torno de 34%. Contudo ambos os tratamentos podem ser melhorados, uma vez que, conforme vários autores, a eficiência desejada é de cerca de 80%.

Uma das causas possíveis para a baixa eficiência do resfriamento evaporativo do ar no tratamento nebulização+ventilação pode ter sido a direção adota para o fluxo de ar dos ventiladores, que em função das necessidades de implantação do experimento, foram posicionados perpendiculares ao eixo longitudinal do galpão, o que fez com que a névoa formada pelos nebulizadores permanecesse pouco tempo dentro do galpão, prejudicando assim a evaporação da água dentro do ambiente animal.

Vale ressaltar que, neste caso, o valor de eficiência calculado acaba sendo influenciado por outras fontes de calor e umidade, internas ao volume de controle, conduzindo assim a variações nos valores de eficiência para o sistema (SINGLETARY e outros, 1996).

Pode-se inferir que, uma vez que os sistemas de nebulização foram idênticos para ambos os tratamentos (nebulização e nebulização+ventilação), o processo de turbilhonamento do ar provocado pelos ventiladores provavelmente foi um dos fatores responsáveis pela melhor eficiência do tratamento nebulização+ventilação.

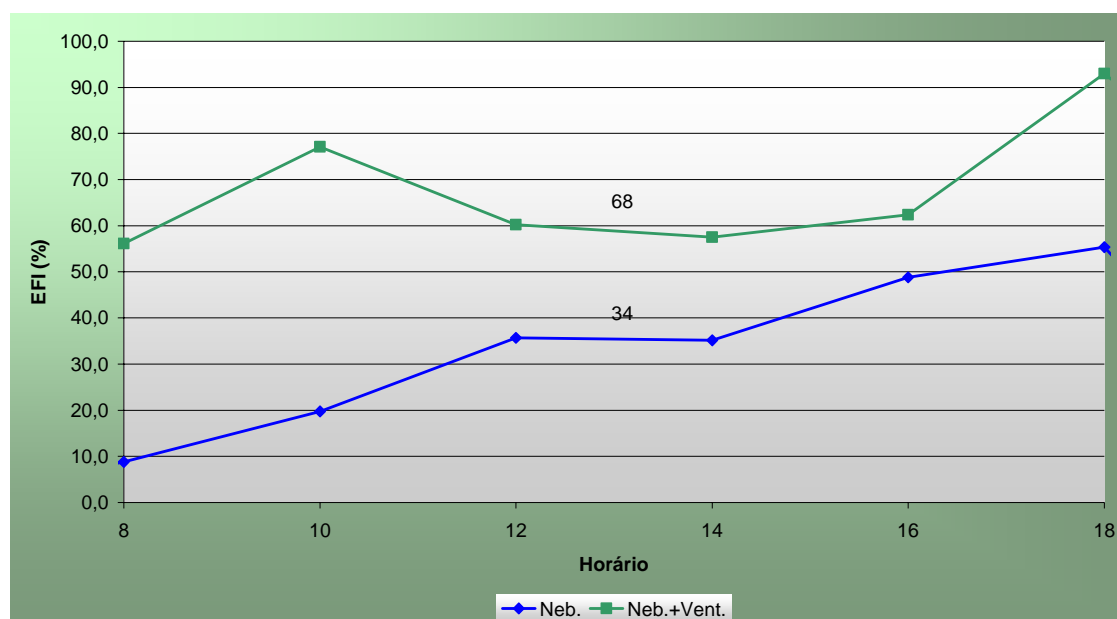


FIGURA 12 – Valores Médios de Eficiência de Resfriamento Evaporativo (EFI), em %, de 8:00 às 18:00 horas para os Tratamentos Nebulização (Neb.) e Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

Presume-se que a eficiência de resfriamento dos dois tratamentos poderia ser melhorada com a utilização de sistemas de nebulização de alta pressão, fechando-se uma das laterais do galpão e mudando a direção do fluxo de ar para o sentido do comprimento do galpão, objetivando manter o ar refrigerado dentro do mesmo pelo maior tempo possível.

4.2. Respostas Fisiológicas Animais

As respostas fisiológicas animais avaliadas foram frequência respiratória, temperatura retal e produção de leite.

4.2.1. Freqüência Respiratória (FR)

A Figura 13 mostra os resultados médios e desvios padrão dos valores observados de Freqüência Respiratória (FR), às 05:00 e 13:00 horas, para os tratamentos nebulização, nebulização+ventilação, e testemunha, obtidos no período experimental, em comparação com o período pré-experimental, quando todos os animais estiveram sob mesma condição, com os equipamentos desligados, tendo como referência a testemunha.

Como pode-se observar na Figura 13, a freqüência respiratória média dos animais pela manhã foi menor que à tarde para todos os tratamentos, fato este já esperado, uma vez que o animal tem maior facilidade de dissipar calor durante a noite e, por conseguinte, estar termicamente mais confortável pela manhã. Contudo a freqüência respiratória animal, um dos mais sensíveis indicadores animais do desconforto térmico, no período da tarde tende a aumentar de acordo com a maneira como cada animal consegue interagir com seu meio ambiente. Desta forma, pode-se inferir que as melhores condições térmicas ambientais foram propiciadas pelo tratamento nebulização+ventilação, seguido pelo tratamento nebulização, onde foram observados os menores incrementos de freqüência respiratória no período da tarde, em relação à manhã, bem como foram observados os menores valores absolutos.

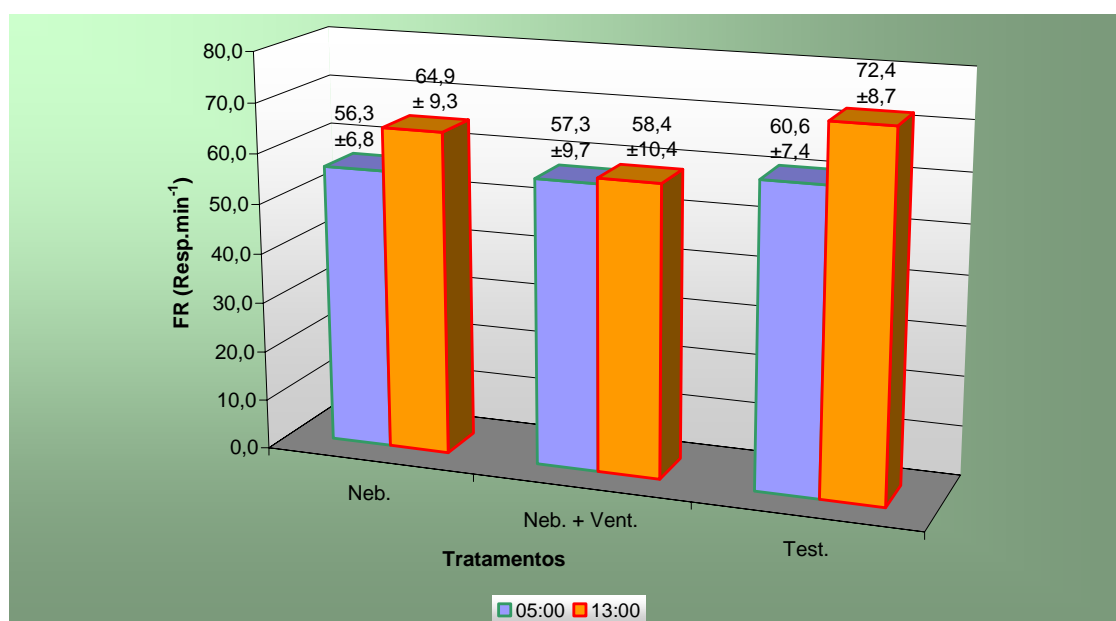


FIGURA 13 – Valores Médios e Desvios Padrão da Freqüência Respiratória (FR), em Respirações.min⁻¹, às 05:00 e 13:00 horas para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.) e Testemunha (Test.) para os Dois Períodos Experimentais.

4.2.2. Temperatura Retal (TR)

A Figura 14 mostra os resultados médios e desvios padrão dos valores observados de Temperatura Retal (TR) às 05:00 e 13:00 horas para os tratamentos nebulização, nebulização+ventilação, e testemunha, obtidos no período experimental, em comparação com o período pré-experimental, quando todos os animais estiveram sob mesma condição, com os equipamentos desligados, tendo como referência a testemunha.

A temperatura retal normalmente representa a quantidade de calor constante no corpo animal. Uma maior temperatura retal, após um determinado período, normalmente indica uma maior dificuldade do animal dissipar calor para o meio ambiente, que por sua vez se caracteriza por ser desconfortável para o mesmo.

A Figura 14 mostra que, à tarde, os maiores valores de temperatura retal foram observados nos animais do tratamento testemunha, seguido do tratamento nebulização e por fim nebulização+ventilação. Isto permite inferir que de fato o uso de ventilação acompanhada de nebulização foi capaz de reduzir o estresse animal durante o dia, quando o calor passa a constituir problema.

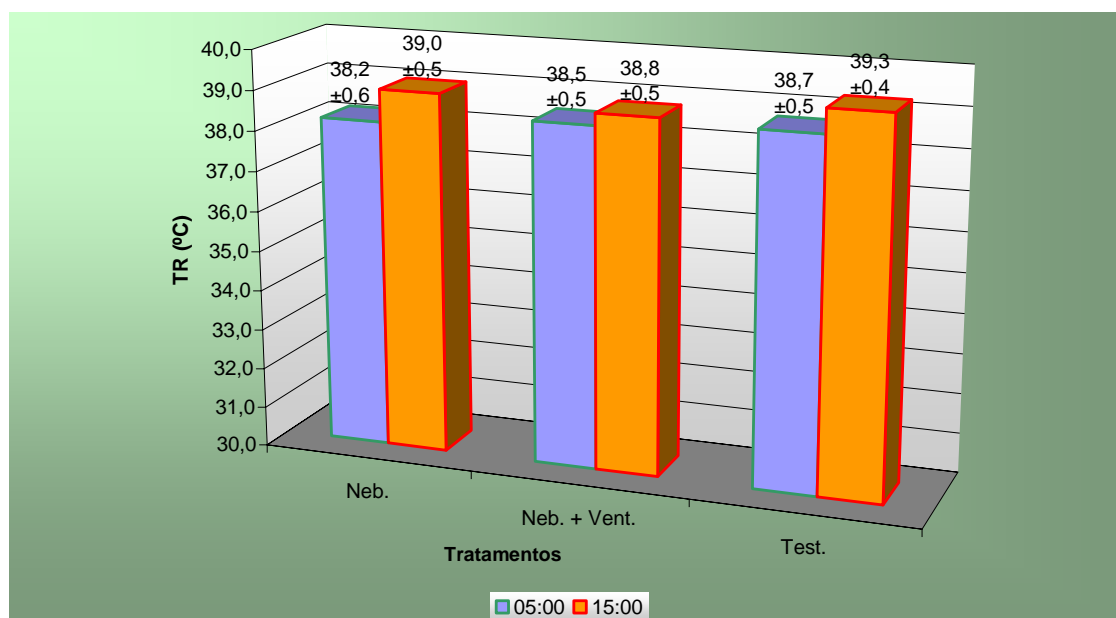


FIGURA 14 – Valores Médios e Desvios Padrão da Temperatura Retal (TR), em °C, às 05:00 e 13:00 horas para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.) e Testemunha (Test.) para os Dois Períodos Experimentais.

4.2.3. Produção de Leite (PL)

A Figura 15 mostra os valores médios diários e desvios padrão da Produção de Leite (PL) obtidos a partir da comparação entre a média de produção do período pré-experimental com o período experimental, tendo como balizamento o tratamento testemunha, que não possuía qualquer sistema de modificação ambiental.

Em termos médios pode-se observar que o maior nível de produção foi apresentado pelos animais que estavam no tratamento nebulização+ventilação. Verifica-se, no entanto que os níveis de produção dos animais do tratamento nebulização, quando comparados com os níveis de produção dos animais do tratamento testemunha, foram idênticos.

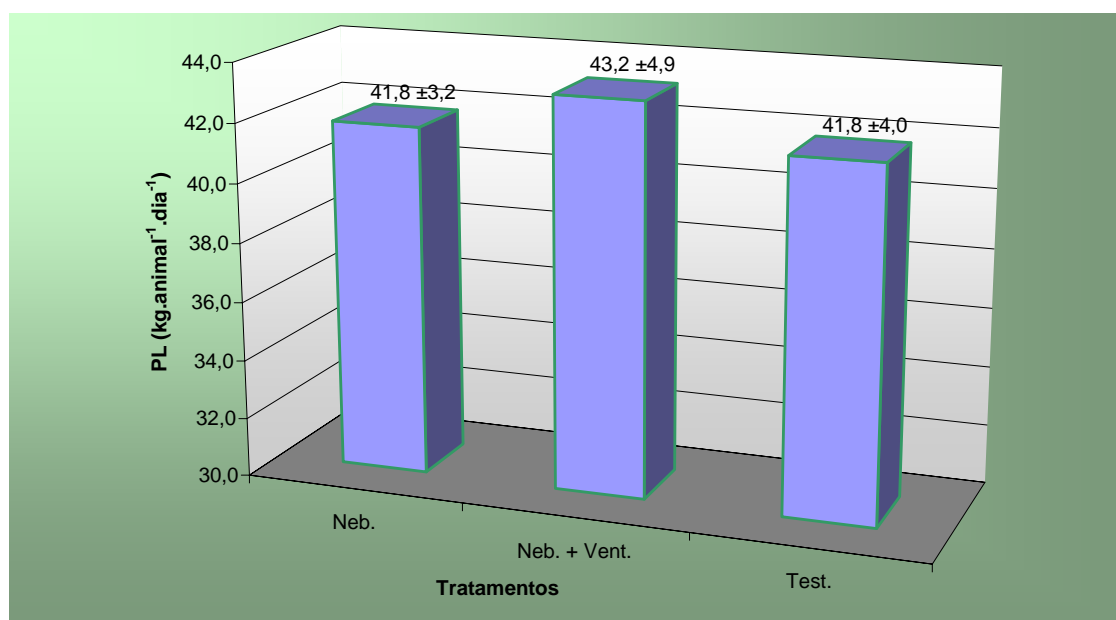


FIGURA 15 – Valores Médios e Desvio Padrão da Produção de Leite (PL), em kg.animal⁻¹.dia⁻¹, para os Tratamentos Nebulização (Neb.), Nebulização Associada a Ventilação Forçada (Neb.+Vent.) e Testemunha (Test.) Durante os Dois Períodos Experimentais.

Estes resultados mostram que as modificações ambientais implementadas (nebulização ou nebulização+ventilação), para as condições ambientais externas do período experimental, não foram capazes de propiciar acréscimo significativo na produção de leite, conduzindo apenas a ligeira vantagem para o sistema nebulização+ventilação. Contudo, vale ressaltar que do ponto de vista do manejo animal, mesmo não propiciando vantagens significativas na produção de leite, os resultados térmicos ambientais decorrentes dos tratamentos, com certeza possibilitaram relativamente maior

conforto térmico aos animais, como visto nos itens 4.2.1 e 4.2.2, o que normalmente permite aos animais responder mais efetivamente a doenças e a medicamentos, além das melhorias nas capacidades reprodutivas dos animais.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Importantes mudanças na produção brasileira de leite, vêm ocorrendo, especialmente nas áreas de genética, nutrição e manejo, contrapondo-se a pouca atenção às técnicas de alojamento, que enfatizam o ambiente de criação dos animais como um dos determinantes para máximo desempenho produtivo.

Em condições de verão, as melhorias térmicas ambientais podem ser de origem natural ou artificial. Dentre as medidas artificiais de acondicionamento térmico destacam-se a ventilação forçada e o resfriamento evaporativo do ar, objetivando a redução do estresse térmico e a manutenção da produção de leite. Estudos têm demonstrado que o impacto do ambiente térmico sobre a produção de leite está intimamente ligado ao nível de produção dos animais, sendo mais afetados aqueles de maior nível produtivo.

O trabalho teve como objetivo avaliar sistemas de resfriamento adiabático evaporativo do ar, com e sem presença de ventilação forçada, em condições de verão, num sistema de produção de leite com galpões do tipo “bairas livres”, com animais de elevado nível de produção (cerca de $40\text{kg}\cdot\text{animal}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$).

O experimento foi realizado na Fazenda Mateira, município de Sacramento, Minas Gerais, durante o período de janeiro a abril de 2001. Os animais eram da raça Holandesa, criados em sistema de confinamento,

recebendo alimentação à vontade denominada ração total, composta de silagem de milho ou girassol e concentrado, três vezes ao dia.

O galpão experimental, com orientação leste-oeste, possuía 65,60m de comprimento, 11,10m de vão, 3,50m de pé-direito, 2,80m de beiral, telhado com estrutura metálica, cobertura de alumínio com 11° de inclinação e pequena abertura na cumeeira. O galpão foi dividido transversalmente em três partes, do piso à cobertura, para abrigar os tratamentos: nebulização (sem ventilação forçada), nebulização+ventilação (nebulização associada a ventilação forçada), e a testemunha (sem nenhum sistema de acondicionamento artificial).

O sistema de nebulização empregado foi o de média pressão, 600kPa, vazão de $6L.h^{-1}.bico^{-1}$, com bicos cerâmicos, espaçados de 2,00m, em três linhas, a 3,50m do piso. Os seis ventiladores utilizados, com vazão de $280m^3.min^{-1}$, foram posicionados em duas linhas, uma na lateral do galpão e outra no eixo longitudinal do mesmo, com o fluxo de ar a 90° em relação ao eixo longitudinal deste e inclinado para baixo 20° em relação à horizontal. Os tratamentos dotados de nebulização possuíam sistemas individuais de acionamento automático, entrando em funcionamento quando a temperatura interna do ar de cada tratamento ultrapassava 23°C, sendo que para valores de umidade relativa superiores a 80% a nebulização era desligada, permanecendo em funcionamento somente a ventilação forçada, quando presente.

Para caracterização das respostas fisiológicas animais correspondentes aos três tratamentos foram definidos aleatoriamente grupos de cinco animais dentre aqueles que possuíam as mais próximas características de raça, idade, número de parições, data da última parição e média produtiva.

Os efeitos de cada tratamento foram observados a partir de um período padrão inicial de oito dias, no qual todos os animais ficaram sob mesmas condições ambientais, com todos os equipamentos de ventilação e nebulização desligados, seguido de período experimental de igual duração.

As leituras de temperatura de bulbo seco e de bulbo molhado, de globo negro e velocidade do ar foram feitas a 0,80m do piso em cada tratamento e dentro de um abrigo meteorológico externo, em intervalos de duas

horas, de 0:00 às 24:00 horas, a cada dois dias, durante dois períodos experimentais. Os registros de produção de leite foram realizados nos três últimos dias do período pré-experimental e nos cinco últimos dias do período experimental, três vezes ao dia, às 5:00, 12:00 e 17:00 horas, e a frequência respiratória, bem como a temperatura retal, às 5:00 horas e às 13:00 horas.

Com base nos resultados experimentais foram calculados o Índice de Temperatura Equivalente (ITE), o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), a Carga Térmica de Radiação (CTR), a Umidade Relativa do ar (UR) e a Eficiência do Resfriamento Evaporativo (EFI). As respostas fisiológicas animais avaliadas foram frequência respiratória, temperatura retal e produção de leite.

Com base nas condições em que o presente trabalho foi desenvolvido, pode-se concluir que:

1. De forma geral, com base no Índice de Temperatura Equivalente (ITE), o tratamento nebulização+ventilação possibilitou estatisticamente melhores condições térmicas ambientais aos animais que os tratamentos nebulização e testemunha, e muito melhores que o ambiente externo.
2. Com base no Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), o tratamento nebulização+ventilação manteve os animais numa zona de segurança, fora do estresse calórico durante todo o tempo, presumivelmente proporcionando aos animais condições para máxima produtividade leiteira, enquanto o tratamento nebulização manteve os animais na zona de cuidado por um período médio de oito horas e a testemunha por um período de duas horas na zona de cuidado e seis horas na zona de extremo cuidado.
3. No período quente do dia, de modo geral, as cargas térmicas de radiação nos tratamentos nebulização, nebulização+ventilação e testemunha não diferiram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste tukey.
4. De modo geral, o tratamento nebulização+ventilação e o tratamento nebulização apresentaram, estatisticamente, maiores valores de

umidade relativa que o tratamento testemunha, que por sua vez apresentou maiores valores que o ambiente externo.

5. O tratamento nebulização+ventilação conduziu aos melhores valores de eficiência do sistema de resfriamento evaporativo, cerca de 68%; em média, quando comparado com o tratamento nebulização, cujos valores estiveram em torno de 34%.
6. Os menores valores médios de frequência respiratória e temperatura retal, bem como os maiores valores de produção de leite dos animais do tratamento nebulização+ventilação indicaram melhores condições térmicas ambientais deste sistema, quando comparado com somente nebulização e por fim com a testemunha.

BIBLIOGRAFIA

- ARAVE, C. W., ALBRIGHT, J. L. Cattle behavior. *Journal Dairy Science*. 64(6):1318-1329. 1981.
- ASHARAE, Evaporative air cooling, Ch. 19. In HVAE *Systems and equipment handbook*. Atlanta, Ga. Am. Soc. of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. 1996.
- BAÊTA, F. C. *Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season*. University of Missouri. 218p. 1985 (Tese de Ph.D.)
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C.F. *Ambiência em edificações rurais – conforto animal*. Viçosa – UFV. 246p. 1997.
- BOND, T. E.; KELLY, C. F.; ITTNER, N. R. Radiation studies of painted shade materials. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*. St. Joseph, Michigan, v.35, n.6, 1954.
- BOND, T. E.; KELLY, C. F.; GARRET, W. N.; HAHN, L. - Evaluation of materials for livestock shades. *Califórnia Agriculture*. 15: 7-8. 1961.
- BUFFINGTON, D. E.; AROCHO, A. C.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*, 24(3):711-714. 1981.
- CURTIS, S. E. *Environmental management in animal agriculture*. Ames: The Iowa State University Press. 409p. 1983.
- ESMAY, M. L. *Principles of animal environment*. Westport CT: Avi Publishing Co., 325p. 1982.

- FRAZZI, E.; CALAMARI, L.; CALEGARI, F.; STEFANINI, L. Behavior of dairy cows in response to different barn cooling systems. **Transactions of the ASAE**. v.43(2):387-394. 2000.
- IGONO, M. O. **Effects of a temperature climate and environmental modifications with shade, spray, and fans on milk production, thermal balance and hormone function of dairy cows**. University of Missouri – Columbia. 242p. 1985. (Tese de Ph.D.)
- MÜLLER, P. B. **Bioclimatologia aplicada aos animais domésticos**. 3ed. Porto Alegre, Sulina. 262p. 1989.
- NATIONAL WEATHER SERVICE – Central Region. **Livestock Hot Weather Stress**. Letter C-31-76. 1976.
- PORTUGAL, J. A. B.; PIRES M. F. A.; DURÃES M. C. Efeito da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar sobre a frequência de ingestão de alimentos e de água e de ruminção em vacas da raça Holandesa. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.52,n.2. 2000.
- SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo. Nobel. 286p. 2000.
- SINGLETARY, I. B.; BOTTCHEER, R. W.; BAUGHMAN, G. R.; Characterizing effects of temperature and humidity on misting evaporative efficiency. **Transactions of the ASAE**. v.39(5). p1801-1809. 1996.
- SMITH, J. F.; BROUK, M. J.; HARNER, J. P. Influence of freestall building orientation on comfort of lactating dairy cattle during summer heat stress. **Dairy Day**. p11-13. 2001.
- THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, n.1, p.57-60. 1959.
- WEST, J. W. Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. **Journal Dairy Science**. v.82, Suppl. 2. p.21-35. 1999.
- ZOLNIER, S. **Potencialidade da utilização do sistema de resfriamento adiabático – evaporativo – na produção de leite**. UFV, Viçosa – MG. 1991. (Tese de M.S.).
- ZOLNIER, S. **Psicrometria I**. Caderno didático engenharia na agricultura. Viçosa, UFV, 14p. 1994.