

I

**AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO ADIABÁTICO  
EVAPORATIVO NA PRÉ-ORDENHA DE VACAS GIROLANDO E SEUS  
EFEITOS NA PRODUÇÃO DE LEITE**

**IRENILSON MACHADO DA SILVA**

Engenheiro Agrícola e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. **HÉLITON PANDORFI**

Co-orientador: Prof. Dr. **RICARDO BRAUER VIGODERIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

RECIFE

Pernambuco

2011

## Ficha Catalográfica

S586a      Silva, Irenilson Machado da  
                Automação do sistema de resfriamento adiabático  
                evaporativo na pré-ordenha de vacas girolando e seus  
                efeitos na produção de leite / Irenilson Machado da Silva.  
                -- 2011.  
                96 f.: il.

                Orientador (a): Héilton Pandorfi.  
                Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –  
                Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento  
                de Tecnologia Rural, Recife, 2011.  
                Inclui anexos e referências.

CDD 636.2

1.   Bovinocultura de leite
2.   Conforto térmico
3.   Geoestatística
4.   Sistema controlador
- I.   Pandorfi, Héilton
- II.  Título

**AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO ADIABÁTICO  
EVAPORATIVO NA PRÉ-ORDENHA DE VACAS GIROLANDO E SEUS  
EFEITOS NA PRODUÇÃO DE LEITE**

**IRENILSON MACHADO DA SILVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2011

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

---

Prof. Dr. Márcilio de Azevedo

---

Prof. Dr. Ricardo Brauer Vigoderis

---

Prof. Dr. Héilton Pandorfi

(Orientador)

*"A excelência pode ser obtida se você se importa mais do que os outros julgam ser necessário; se arrisca mais do que os outros julgam ser seguro, sonha mais do que os outros julgam ser prático, e espera mais do que os outros julgam ser possível."*

*(Vince Lombardi)*

A Deus

Aos meus pais, Iremar (**In memorian**) e Edinilza

A minha irmã, Hayane

**DEDICO.**

Aos Meus Avós

Severina

Avelino e Alta **In memorian**

José Machado **In memorian**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que me protegeu, me iluminou, me deu forças nos momentos mais difíceis durante esse percurso e agradeço ainda pelo dom da vida e a oportunidade diária de aprendizado e evolução.

À minha família, por todo apoio, carinho, amor e confiança em mim depositados, especialmente aos meus pais, Iremar (que Deus o tenha) e Edinilza, pois são eles a razão disto tudo, e é a eles que ofereço a minha vitória. Foram eles que me legaram sólida formação, que me proporcionaram a continuidade nos estudos até a chegada a este mestrado, meus eternos agradecimentos.

A minha namorada Karine pela compreensão, apoio, carinho e incentivo.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pelo acolhimento em toda minha trajetória desde a graduação a realização do mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE pela oportunidade de realizar este curso de mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Héilton Pandorfi, pela ótima orientação, confiança, atenção, amizade, pelo incentivo e entusiasmo na execução deste trabalho, responsável pelo meu crescimento pessoal e científico. Por ter acreditado no meu potencial e por todo auxílio intelectual e emocional a mim dispensados.

À professora Dra. Cristiane Guiselini, por sua ajuda, amizade, paciência, incentivo e pelos ensinamentos e conselhos.

À Fundação e Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa de estudos para a realização do curso de mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos, críticas e sugestões.

A todos os professores do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da UFRPE, pelas boas aulas e ensinamentos. Especialmente agradeço ao professor Renato Laurenti pelo imenso apoio, palavras de incentivo, amizade, confiança e respeito.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola: Adriana, Caetano, Carmem, Cleuma, Francimar, Marcelo, Marcela, Matheus, Liliane, Lúcio, Patrícia, Rogério, Robertson, Sinval, Sony, Uilka, Waldirene; pelo convívio, apoio, amizade sincera e pelos momentos de descontração durante a realização do curso.

A meu amigo Ângelo pelo apoio, dedicação e grande ajuda para execução deste trabalho. E aos estagiários Hugo Henrique e Paulo, que contribuíram para execução do experimento e coletas de dados a campo.

À Fazenda Roçadinho, pela cessão dos animais e instalações utilizadas na realização deste trabalho.

Ao meu grande amigo Gledson Luiz Pontes de Almeida que tanto me ajudou nessa jornada e a seus pais Luiz Artur e Genúria, seus irmãos Amelinha e José Artur que além de ceder a fazenda para realização do trabalho, me acolheram como um filho em sua casa.

Ao excelente amigo Anildo Monteiro Caldas não só pela ajuda na dissertação, mas também pelos conselhos, verdadeira amizade e ajuda nas horas difíceis, sempre se mostrando disponível a ajudar.

A todos os meus amigos da Rural, entre eles: Olavo, Zezito, Profa. Adriana, Sônia, Nana, Helena, Fernando Cartaxo, Marcus Metri, Manoel Vieira, Júlio, Jaime, Albert, Betinho, Cícero, Valdemir, Lulinha, Robinho, Jonas, Léo, Eduardo e a todos outros.

Aos amigos da Fazenda Roçadinho Ricardo e Bruno pela ajuda durante o experimento e pela companhia nas horas de distração.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>14</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>16</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Produção de leite no Brasil .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Conforto térmico para bovinos leiteiros .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Respostas fisiológicas .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.1 Temperatura retal .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.2 Frequência respiratória .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.3 Temperatura da superfície do pelame .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4 Automação na produção de leite.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.1 Zootecnia de precisão.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.2 Automação dos sistemas para aumento do conforto animal.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5 Controle do ambiente.....</b>	<b>31</b>
<b>2.5.1 Climatização das instalações para bovinos de leite .....</b>	<b>31</b>
<b>2.6 Automação dos Sistemas .....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.1 Sensores na Pecuária .....</b>	<b>36</b>
<b>2.6.2 Atuadores.....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.3 Controladores .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.4 Comunicação .....</b>	<b>38</b>
<b>2.7 Geoestatística aplicada a produção animal .....</b>	<b>39</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>41</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>41</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>41</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>43</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>54</b>

<b>RESUMO</b> .....	54
<b>ABSTRACT</b> .....	54
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	55
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	56
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	60
<b>CONCLUSÕES</b> .....	67
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	67
<b>CAPÍTULO III</b> .....	70
<b>RESUMO</b> .....	70
<b>ABSTRACT</b> .....	70
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	71
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	72
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	76
<b>CONCLUSÕES</b> .....	82
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	82
<b>3. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	84
<b>4. REFERÊNCIAS</b> .....	85
<b>ANEXO</b> .....	92



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trocas térmicas entre os animais e o ambiente (ALMEIDA, 2010). .....	20
Figura 2 - Divisão da automação na produção leiteira.....	27
Figura 3 - Conceito de sistemas de monitoramento integrado para produção animal. ...	29
Figura 4 - Componentes e fluxo de informação em um sistema de automação hipotético. .....	38

## CAPÍTULO I

Figura 1 - Montagem dos módulos.....	443
Figura 2 – Montagem do controlador (A), vista frontal do controlador (B), conector DB 25 para comunicação entre o controlador e os atuadores(C).....	44
Figura 3 – Chave liga/desliga (A), entrada (DB 9) para programação (B) e comunicação (DB 15) com os sensores(C).....	44
Figura 4 – Atuadores: conjunto motobomba (A), ventilador (B) e linha de nebulização (C).....	45
Figura 5 - Esquema em blocos do software operacional.....	488
Figura 6 – Relação funcional entre os dados de temperatura do ar obtidos em laboratório pelo datalogger HOBO e do controlador na etapa de teste.....	499
Figura 7 - Relação funcional entre os dados de umidade relativa do ar obtidos em laboratório pelo datalogger HOBO e do controlador na etapa de teste.....	499
Figura 8 - Relação funcional entre os dados de temperatura do ar obtidos em laboratório pelo datalogger HOBO e do controlador na etapa de aferição.....	50
Figura 9 - Relação funcional entre os dados de umidade relativa do ar obtidos pelo datalogger HOBO e do controlador na etapa de aferição.....	50
Figura 10 - Relação funcional entre os dados de temperatura do ar obtidos pelo datalogger HOBO e do controlador na etapa de validação.....	51
Figura 11 - Relação funcional entre os dados de umidade relativa do ar obtidos pelo datalogger HOBO e do controlador na etapa de validação.....	51
Figura 12 – Variação da temperatura de bulbo seco após 40 min de climatização e no abrigo meteorológico (ambiente externo) no turno da tarde (13h 30 min às 14h 10 min).....	52

### **CAPÍTULO III**

Figura 1 - Planta baixa do curral de espera e localização dos ventiladores e das linhas de nebulização. ....	75
Figura 2 – Malha regular dos pontos de registro de temperatura. ....	75
Figura 3 – Semivariogramas experimentais da variável temperatura nos diferentes tempos de exposição ao SRAE. ....	77
Figura 4 - Mapas de krigagem para variável temperatura (°C) para 0 min (A), 20 min (B), 30 min (C) e 40 min (D) de climatização na pré-ordenha equipada com SRAE automatizado. ....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aumento na produção de leite de vacas em diferentes estágios de lactação submetidas a ventilação associada a nebulização dentro do “*freestall*” ..... 35

### CAPÍTULO I

Tabela 1 – Análise do custo total do controlador de temperatura e umidade relativa. .... 52

### CAPÍTULO II

Tabela 1 - Valores médios diários das variáveis ambientais registrados na pré-ordenha, no turno da tarde. .... 60

Tabela 2 - Valores médios dos parâmetros fisiológicos avaliados nos diferentes tratamentos no turno da manhã. .... 61

Tabela 3 - Valores médios dos parâmetros fisiológicos avaliados nos diferentes tratamentos no turno da tarde. .... 62

Tabela 4 - Investimento e custos das instalações com nebulizadores e ventiladores. .... 65

Tabela 5 - Custo variável. .... 65

Tabela 6 - Valor monetário arrecadado durante o mês. .... 66

Tabela 7 - Tempo de retorno do investimento. .... 66

### CAPÍTULO III

Tabela 1 - Análise estatística descritiva da temperatura do ar nos diferentes tempos de climatização estudados. .... 76

Tabela 2 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as médias de temperatura (°C). .... 78

**AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO ADIABÁTICO  
EVAPORATIVO NA PRÉ-ORDENHA DE VACAS GIROLANDO E SEUS  
EFEITOS NA PRODUÇÃO DE LEITE**

Autor: **IRENILSON MACHADO DA SILVA**

Orientador: Prof. Dr. **HÉLITON PANDORFI**

Co-orientador: Prof. Dr. **RICARDO BRAUER VIGODERIS**

### **RESUMO**

Objetivou-se com esta pesquisa desenvolver um sistema de monitoramento e controle de atuadores na quanti-qualificação dos efeitos da climatização na pré-ordenha de bovinos sobre a produção de leite, estado fisiológico e a eficiência do acondicionamento térmico ambiental com o emprego da geoestatística em um sistema semi-intensivo de produção de leite. A pesquisa foi realizada em uma fazenda comercial de produção de leite tipo B, localizada no município de Capoeiras, PE, latitude de 8°36'33" S, longitude de 36°37'30" W e altitude de 733 m, de janeiro a fevereiro de 2010. O desenvolvimento do sistema controlador das variáveis ambientais (temperatura, °C e umidade relativa do ar, UR%) compreendeu as etapas de montagem, teste e aferição em laboratório e, posteriormente a etapa de validação do equipamento realizada no campo. A etapa de validação apresentou resultados que permitiu concluir que o sistema pode ser utilizado com segurança, o que garantiu o grau de automação necessário para o funcionamento intermitente da climatização na pré-ordenha. O equipamento apresentou custo reduzido (R\$ 325,76) quando comparado a média de outros no mercado (R\$ 450,00). Na etapa experimental da pesquisa, utilizaram-se 16 vacas com produção de 20 kg de leite d<sup>-1</sup>, adotando-se delineamento em quadrado latino 4 x 4 e comparação entre as médias pelo teste de Tukey (P<0,05). Foram considerados diferentes tempos de exposição dos animais na pré-ordenha ao sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE) automatizado, 0, 20, 30 e 40 min. A temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa do ar (UR) foram registradas a cada minuto, o que permitiu determinar o índice de temperatura e umidade (ITU) e entalpia (h). A frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR) e temperatura de pelame (TP) foram medidas antes e depois da climatização. O tempo de exposição dos animais a 40 min de climatização manteve as variáveis

ambientais e os índices de conforto entre os limites recomendados. As variáveis fisiológicas (FR, TR e TP) mostraram valores inferiores quando os animais foram expostos ao SRAE por 40 min, com aumento de 3,66% na produção de leite. O investimento promoveu acréscimo na receita mensal de R\$ 1.992,67 com tempo de retorno do capital investido de 40 dias. O conhecimento da variabilidade espacial do atributo temperatura do ar e a construção de mapas de krigagem possibilitaram verificar que o uso da geoestatística definiu áreas específicas no curral de espera (pré-ordenha) que estiveram acima do limite crítico de conforto térmico animal. O tempo de exposição à climatização por 40 min garantiu a estabilização da temperatura do ar dentro da condição de conforto térmico para vacas em lactação.

**Palavras-chave:** bovinocultura de leite, conforto térmico, geoestatística, sistema controlador.

**AUTOMATION OF THE ADIABATIC EVAPORATIVE COOLING SYSTEM  
ON PRE-MILKING OF GIROLANDO COWS AND THEIR EFFECTS ON  
MILK PRODUCTION**

Autor: **IRENILSON MACHADO DA SILVA**

Orientador: Prof. Dr. **HÉLITON PANDORFI**

Co-orientador: Prof. Dr. **RICARDO BRAUER VIGODERIS**

**ABSTRACT**

The objective of this study was to develop a system for monitoring and control of actuators in quanti-qualification of the effects of cooling system in the pre-milking for cow on milk production, physiological state and the efficiency of the thermal conditioning system with the use of geostatistics in a semi-intensive system of milk production. The research was conducted on a dairy farm producing type B milk located in the state of Pernambuco, 8°36'33" S, 36°37'30" W and altitude of 733 m, in January-February of 2010. The development of the controller system of the environmental variables (temperature, °C and relative humidity of the air, RH%), comprised the steps of assembly, test and laboratory calibration and after that the validation of the equipment carried in the field. The validation step showed that the results obtained allowed that the system can be used safely, which granted the degree of automation required for the intermittent operation of cooling system in the pre-milking. The equipment showed the lower cost (R\$ 325.76), when compared to other middle market (R\$ 450.00). In the experimental step of the study, 16 cows producing 20 kg milk d<sup>-1</sup> were used, adopting the Latin square design 4 x 4 and comparison between means by Tukey test (P<0.05). Different times were considered of exposure of the animals in pre-milking to the adiabatic evaporative cooling system (AECS) automated, 0, 20, 30 and 40 min. The dry bulb temperature (T<sub>bs</sub>) and relative humidity of air (RH) were recorded every minute, which allowed determining the temperature and humidity index (THI) and the enthalpy (h). The respiratory rate (RR), rectal temperature (RT) and temperature of coat (TC) were measured before and after cooling system. The exposure of animals to 40 min of the cooling system maintained the environmental variables and the indices of comfort between the recommended limits. The physiological variables (RR, RT and

TC) showed lower values when the animals were exposed to AECS for 40 min., with 3.66% increase in the milk production. The investment promoted increase in the monthly revenue of R\$ 1,992.67, with a time of return on invested capital of 40 days. Knowledge of spatial variability of air temperature and the construction of maps of kriging allowed checking that the use of geostatistics has defined specific areas in the stable waiting pen (pre-milking) that were above the critical limit of animal thermal comfort. The time of exposure to cooling system for 40 min ensured the stabilization of air temperature within the thermal comfort condition for lactating cows.

**Keywords:** dairy cattle, thermal comfort, geostatistics, controller system.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura e a pecuária têm passado por inúmeras transformações, tornando a atividade cada vez mais competitiva e exigindo do produtor maior nível de especialização, capacidade de gerenciamento e profissionalismo. Os produtores, além de administradores, cada vez mais terão de assumir a função de produtores pesquisadores de suas áreas, atuando diretamente no registro de dados e geração de protocolos integrados a informação, associado a novas técnicas de manejo como auxílio à tomada de decisão. A viabilização da atividade leiteira, com a obtenção de lucro satisfatório, está sempre em risco em decorrência de fatores controláveis e incontroláveis que definem a produção de leite.

O agronegócio do leite ocupa posição de destaque na economia brasileira, sendo grande a expectativa, nesta década, de continuar o crescimento da produção e da produtividade, com índices maiores do que aqueles alcançados nos últimos anos. O leite está entre os seis primeiros produtos mais importantes da agropecuária nacional, ficando à frente de produtos tradicionais como café beneficiado e arroz. O leite e seus derivados desempenham relevante papel no suprimento de alimentos e na geração de emprego e renda para a população.

Na região Nordeste, o Estado de Pernambuco ocupa o lugar de segundo maior produtor, com 19,7% do leite produzido, ficando atrás do Estado da Bahia, com 28,3%. O Agreste de Pernambuco, região intermediária entre a Zona da Mata e o Sertão, a pecuária leiteira é uma importante atividade do ponto de vista econômico e social, estando presente na maioria das propriedades rurais, empregando mão-de-obra e constituindo importante fonte de renda e estabilidade social para a população rural. Dados revelam que a produção de leite dessa região representa 76% (478,8 milhões de litros) da produção leiteira do Estado (IBGE, 2007).

Nos últimos 50 anos, percebe-se tendência de certos produtores na manutenção dos animais em algum tipo de confinamento, devido ao aumento do rebanho e a intensificação de suas atividades, procurando melhorar o conforto térmico para animais de elevada exigência. Certamente, os sistemas de confinamento em muito diferem daqueles em que os animais têm acesso às pastagens. Desta forma, com os sistemas de confinamento apareceram novos problemas, mas também novas oportunidades para manejar rebanhos leiteiros com melhor conforto, permitindo melhores níveis de produção sem comprometer aspectos reprodutivos e de saúde geral dos animais.



O fator climático é uma das condições que influenciam a produtividade de vacas leiteiras. No Brasil, a produtividade é afetada pelas dificuldades de adaptação das vacas de raças leiteiras européias ao seu clima. Neste contexto, o uso de tecnologias como os sistemas de climatização constitui uma alternativa para minimizar os efeitos das condições desfavoráveis do ambiente para o animal (PERISSINOTTO, 2007).

Além da temperatura do ar, a radiação solar direta e a umidade relativa do ar exercem influência sobre a produção. A combinação de altas temperaturas com elevada umidade do ar pode deprimir o desempenho de vacas leiteiras (NÄÄS, 1998). Para equilibrar sua temperatura interna quando submetido à condição desfavorável de conforto, um dos mecanismos que o animal utiliza é a diminuição do consumo alimentar, com conseqüente alteração na produção de leite, devido às suas necessidades nutricionais não serem atendidas.

A pecuária leiteira enfrenta constantes desafios diante da economia brasileira, e ainda apresenta problemas desde falta de informação, até o descaso. A informação é cada vez mais importante no agronegócio, seja na produção propriamente dita, seja para a análise e identificação de problemas. A inserção competitiva do agronegócio brasileiro no mercado mundial exige, cada vez mais, que a informação ao longo da cadeia esteja disponível.

Uma das maiores limitações é a ausência de recursos de automação para o registro de dados no campo, implicando em muitos riscos para a rentabilidade e a sustentabilidade no setor primário. A automação dos processos é muito importante, pois permite visualizar o sistema de produção por uma ótica mais ampla, permitindo o monitoramento das atividades, eficiente análise de dados e geração de informações que permitam decisões mais seguras e inteligentes. Dessa forma, todas as áreas envolvidas podem ser proativas em suas responsabilidades e o tempo e recursos melhor aproveitados.

Portanto, esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de desenvolver um sistema de monitoramento e controle de atuadores na quanti-qualificação dos efeitos da climatização na pré-ordenha de bovinos sobre a produção de leite, estado fisiológico e acondicionamento térmico ambiental em um sistema de produção semi-intensivo.

Os objetivos específicos foram:

- avaliar e quantificar os efeitos da climatização na pré-ordenha;
- verificar relação custo/benefício do sistema de automação associado ao sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE);

- caracterizar a variabilidade espacial da temperatura do ar na pré-ordenha com o emprego da técnica de geoestatística para avaliação da eficiência do sistema de resfriamento adiabático evaporativo automatizado.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Produção de leite no Brasil**

Desde a pré-história o homem inclui em sua dieta alimentos de origem animal e, juntamente com o domínio da agricultura, foi capaz de explorar um alimento tão importante como o leite. A maior parte do leite e de seus derivados, como o iogurte e o queijo, consumidos no Brasil são provenientes de bovinos leiteiros (GUIA ALIMENTAR PARA A POPULAÇÃO BRASILEIRA, 2004).

No Brasil, a produção de leite gira em torno de 28.700 milhões de litros por ano. De acordo com a EMBRAPA (2009), 21.900 milhões de vacas foram ordenhadas, em 2009, ação que resultou numa produtividade na ordem de 1.307 litros por animal neste período. Os maiores produtores estão na região Sudeste, onde Minas Gerais lidera o ranking nacional, com produção média de 7,9 milhões de litros/ano. A região Norte apresenta o menor desempenho produtivo, com metade da produção média nacional, fato explicado pelo baixo índice tecnológico dos rebanhos. A pecuária leiteira está vivendo um processo intenso de atualização. No setor primário, o processo de modernização não vai acontecer sem que os produtores se especializem. A modernização é a única alternativa para a continuidade da pecuária leiteira no Brasil (BRANDÃO, 2001).

Levando-se em conta o estágio de desenvolvimento tecnológico empregado nas propriedades brasileiras, atualmente o produtor de leite corre o risco da concorrência internacional, em virtude da formação de blocos econômicos, que promovem o intercâmbio comercial como é o caso do Mercosul. Caso o produtor não tome consciência desta realidade, ou não se organize para baixar custos e oferecer um produto de melhor qualidade, perderá espaço para os países com maior eficiência de produção.

O panorama mundial aponta claramente para um futuro em que a agropecuária dependerá inevitavelmente da automação. A automação poderá auxiliar profundamente na sustentabilidade, tanto do processo produtivo como do desenvolvimento econômico e social.

### **2.2 Conforto térmico para bovinos leiteiros**

Os animais têm sido submetidos aos mais variados tipos de clima, cultura e práticas de manejo. Segundo Perissinotto et al. (2007) pode-se considerar que os mecanismos básicos de trocas térmicas entre o animal e o ambiente atuam por meios não evaporativos (condução, convecção, radiação) e evaporativos (respiração e

transpiração), conforme ilustra a Figura 1. Os bovinos são animais homeotérmicos, isto é, capazes de manter relativamente constante a temperatura corporal independentemente das variações da temperatura ambiente. Os animais mantêm a homeotermia indiretamente, pelos processos de transferência de calor por radiação, convecção, condução e evaporação que ocorrem na superfície do animal (AZEVEDO et al., 2005). Os bovinos, dependendo da raça, nível de produção, estágio fisiológico e estado nutricional, mantêm o conforto térmico em uma determinada faixa de temperatura ambiente, isto é, não sofrem estresse por frio ou calor; esta faixa é denominada zona termoneutra (ARCARO, 2005). Nesta faixa, o sistema termorregulador não é acionado, seja para fazer termólise ou termogênese; assim, o gasto de energia para manutenção é mínimo, resultando em máxima eficiência produtiva (BACCARI JÚNIOR, 1998).

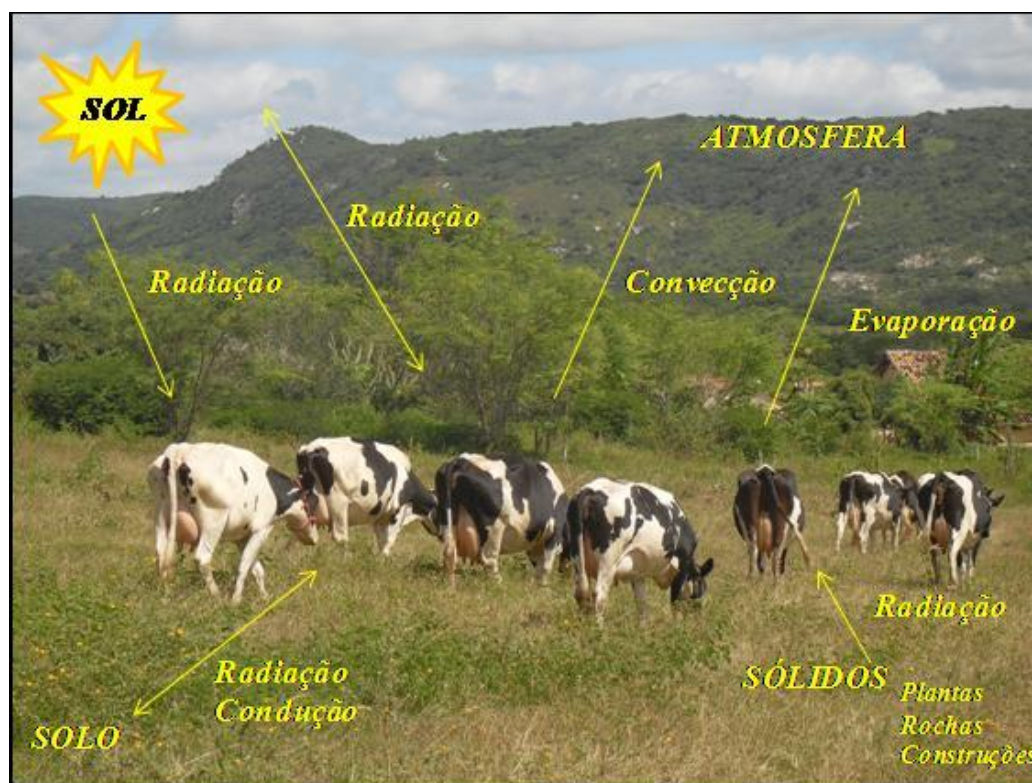


Figura 1 - Trocas térmicas entre os animais e o ambiente (ALMEIDA, 2010).

A temperatura ótima para a produção de leite depende da espécie, raça e grau de tolerância ao calor e ao frio. De modo geral, a zona de termoneutralidade (ZTN) de vacas Holandesas em lactação, em termos de temperatura do ar, varia de 4 a 26 °C (PERISSINOTTO & MOURA, 2007). A temperatura crítica superior para vacas em

lactação, Pardo Suíço e Jersey, pode chegar a 27 e 29 °C, respectivamente (BACCARI JÚNIOR, 1998).

Para a vaca da raça Zebu, a temperatura crítica superior varia entre 30 e 35 °C (BIANCA, 1965). Dessa forma, pode-se concluir que, em um país de clima tropical/subtropical como o Brasil, as vacas leiteiras, principalmente de raça Holandesa, na maior parte do ano estão submetidas a temperaturas maiores do que as desejadas (PERISSINOTTO, 2003).

Animais zebuínos (*Bos indicus*) têm maior tolerância ao estresse calórico que a maioria das raças taurinas (*Bos taurus*), devido às adaptações sofridas ao longo do tempo e pela seleção de genes para termotolerância (HANSEN, 2004).

Quando a temperatura ambiente está dentro da zona de termoneutralidade, quase todo o calor corporal dissipado ocorre na forma de calor sensível (radiação, convecção ou condução). Esse tipo de liberação de calor altera a temperatura ambiente. À medida que a temperatura ambiente aumenta além do limite superior da zona de conforto, gradualmente aumenta a importância da dissipação de calor por evaporação (TINÔCO, 2004).

As vacas possuem quatro mecanismos básicos de perda de calor, agrupados em meios evaporativos e não- evaporativos. Os meios não- evaporativos incluem condução, convecção e radiação. Esses meios requerem um diferencial de temperatura entre o animal e o ambiente, o que nem sempre acontece em condições de clima quente. A perda de calor por condução se efetua por contato e passa sempre do corpo mais quente para o mais frio. Assim, quando a temperatura da pele (TP) (ou da superfície do corpo) é mais elevada que a do ambiente, o organismo cederá calor à superfície em contato com a pele/pelo do animal.

No processo de convecção o ar entra em contato com a pele e se aquece, tornando-se menos denso, deslocando-se em direção ascendente, dando lugar a outras moléculas de ar, ainda frias, que entram em contato com a superfície do corpo, em que serão aquecidas, dando continuidade ao processo de troca térmica. Se a temperatura do ar for mais elevada do que a da superfície do corpo, este ganhará calor, invertendo-se o mecanismo.

A perda de calor por radiação consiste na emissão de ondas eletromagnéticas (radiação infravermelha ou calorífica) do corpo do animal a outros objetos (paredes etc.) ou vice-versa, sendo sempre do corpo com temperatura maior para o de temperatura menor, sem aquecer o ar por onde passa e, portanto, não dependendo da movimentação

do ar do local (BACCARI JÚNIOR, 2001). Segundo Morgan (1990), a radiação solar representa 75% da carga térmica transferida para o interior de um galpão. A cobertura é o sistema construtivo através do qual ocorre a principal entrada dessa carga térmica, daí o interesse em se estudar a interferência de materiais de cobertura, orientação da construção, projeção do telhado (beiral), insolação e vegetação circundante.

A quarta via de perda de calor compreende os meios evaporativos. Este tipo de perda é importante em temperaturas superiores a 29 °C. A partir de valores acima dessa temperatura, 85% da perda de calor ocorre por meio evaporativo (transpiração e respiração). A perda de calor por esses meios é praticamente independente da temperatura do ar, no entanto, depende da umidade externa. Se a umidade relativa do ar for alta, há necessidade de movimentar o ar, por meio de ventilação forçada (MACHADO, 1998).

Quando a temperatura ambiente for maior que 29 °C e umidade relativa correspondente a 40%, a produção das vacas da raça Holandesa, Jersey e Pardo Suíça equivale a 97, 83 e 98% da produção de leite normal, respectivamente; quando a umidade relativa é igual a 90%, a produção de leite foi 69, 75 e 83% da produção normal, respectivamente (WEST, 2003).

Uma vez que a carga térmica total resulta da produção de calor metabólico mais o calor ambiental, vacas de alta produção, que apresentam metabolismo intenso devido à ingestão de grande quantidade de alimento, têm maior dificuldade para manter a temperatura corporal em níveis normais (HEAD, 1989).

Os limites da zona de termoneutralidade são a temperatura crítica inferior (TCI) e a temperatura crítica superior (TCS). Abaixo da TCI, a vaca entra em estresse pelo frio, e acima da TCS, em estresse pelo calor (BACCARI JÚNIOR, 1998).

Embora se saiba que a genética das vacas produtoras de leite tem origem em países de clima temperado, existe uma eminente adaptação desses animais às situações de clima quente. Entretanto, existe grande variação, na literatura, sobre as temperaturas crítica superior e inferior. Os valores mais altos de temperatura crítica superior indicam maior tolerância ao calor. Uma vaca mantida com alto nível de produção será mais sensível ao calor que uma vaca de baixa produção. Tal fato se deve à maior taxa metabólica das raças mais produtivas (BACCARI JÚNIOR, 2001).

Fuquay (1997) considerou, para o gado europeu, valor de temperatura crítica superior entre 25 e 27 °C. De acordo com Nääs (1989), em função da umidade relativa do ar e da radiação solar local, a faixa de termoneutralidade poderia ser restringida entre

7 e 21 °C. Perissinotto & Moura (2007) consideram como adequadas para o conforto térmico de vacas em lactação a temperatura do ar entre 4 e 26 °C. Para Perissinotto (2007), o limite superior da zona de termoneutralidade (ZTN), para vacas Holandesas em lactação em condição de confinamento, situa-se próximo dos 26 °C de temperatura de bulbo seco. Ainda segundo o autor, uma temperatura menor ou igual a 26 °C, o animal encontra-se em conforto térmico, independentemente da umidade relativa do ar.

Essa diferença entre a zona de termoneutralidade apresentada por inúmeros pesquisadores deve-se à capacidade de adaptação dos animais a situações climáticas específicas (NÄÄS & RODRIGUES, 1999); a condições fisiológicas, reprodutivas e nutricionais dos animais (TITTO, 1998), além da produtividade. Entretanto, todos concordam que existe uma faixa ideal de conforto térmico e que, acima ou abaixo desse intervalo, as vacas da raça Holandesa passariam à condição de tolerância ao calor e ao frio, ocorrendo uma demanda fisiológica no sentido do organismo ter uma sobrecarga de trabalho para manter a temperatura corpórea estável.

Acima da temperatura crítica superior, o aumento da temperatura corporal influencia negativamente o desempenho, reduzindo a produção e alterando a composição do leite (ROENFELDT, 1998).

Com referência aos valores de TCS, verifica-se que o Brasil apresenta, frequentemente, temperaturas superiores a esse limite, por várias horas do dia e em grande parte do ano, submetendo, então, as vacas leiteiras ao estresse térmico (MATARAZZO, 2004).

O ambiente térmico representa, portanto, um fator de restrição para a eficiência máxima de produção, principalmente nos sistemas intensivos, considerando-se que a maior influência do estresse pelo calor sobre a produção de leite é exercida pela diminuição no consumo de alimentos (matéria seca), com consequente redução na ingestão de energia metabolizável. Essas alterações são realizadas pelo animal com o objetivo de reduzir a produção ou promover a perda de calor e manter a homeostase (HUBER, 1990). Porém, a diminuição na produção de leite, como resposta ao estresse térmico, não leva à perda total da produção, mas, uma vez cessada a condição de estresse, a quantidade de leite volta a aumentar, porém o faz lentamente e sem retornar ao nível anterior ao estresse (PERISSINOTTO, 2003).

Aguiar et al. (1996) verificaram que o estresse brando pelo calor deprime a produção de leite de vacas Holandesas (com produção diária média de 17 kg) entre 3,6 a 4,5% nas fases termoneutras, subsequentes ao estresse; após alguns dias de

termoneutralidade as vacas recuperam, total ou parcialmente, a produção de leite. Os autores observaram que as vacas recuperam a produção parcial ou total, desde que tenham ficado anteriormente alguns dias em condições de termoneutralidade.

## **2.3 Respostas fisiológicas**

### **2.3.1 Temperatura retal**

A temperatura corporal resulta do equilíbrio entre o ganho e a perda de calor do corpo, isto é, a quantidade de calor produzida no organismo, ou por ele absorvida, e a quantidade liberada para o ambiente. A temperatura corporal é um evento biológico de ocorrência periódica, obedecendo a um ritmo ou ciclo circadiano, ou seja, que se repete a cada 24 h, com a máxima entre 17 h e 19 h e a mínima entre 4 h e 6 h (BACCARI JÚNIOR, 2001). A capacidade do animal de resistir às condições de estresse calórico tem sido avaliada fisiologicamente por alterações na temperatura retal e frequência respiratória.

O equilíbrio entre o ganho e a perda de calor do corpo pode ser inferido pela TR. A medida da TR é usada frequentemente como índice de adaptabilidade fisiológica aos ambientes quentes, pois seu aumento indica que os mecanismos de liberação de calor tornaram-se insuficientes (MARTELLO et al., 2004b).

Segundo Martello et al. (2002), a temperatura retal sofre interação com a hora do dia, apresentando maior valor durante o período da tarde em relação ao da manhã, variando também com a categoria animal analisada, sendo que as novilhas apresentam, na maior parte do dia, temperatura retal maior em comparação às vacas.

Nas condições de termoneutralidade, a TR de bovinos holandeses apresentou correlação mais alta (0,96) com a hora do dia, do que com a temperatura do ar (0,71), no período das 8 às 18 h. A partir das 15 h, a temperatura do ar começou a cair, enquanto a TR continuou a aumentar, mostrando que, durante o dia, esta se eleva em função do metabolismo animal e não propriamente da temperatura ambiente (BACCARI JÚNIOR et al., 1979).

A TR normal da vaca leiteira, em termoneutralidade e em repouso, varia, geralmente, entre 38,0 °C e 39 °C (PERISSINOTTO et al., 2007).

### **2.3.2 Frequência respiratória**

Na defesa contra o estresse pelo calor, os bovinos recorrem a mecanismos adaptativos fisiológicos de perda de calor corporal para tentar evitar a hipertermia.



Assim, aumentam a FR, apresentando taquipnéia, como complemento ao aumento da taxa de produção de suor (taxa de sudorese), constituindo ambos, importantes meios de perda de calor do corpo por evaporação (termólise evaporativa respiratória e cutânea). A taquipnéia é o primeiro sinal visível como resposta ao estresse pelo calor, embora se situe em terceiro lugar na sequência dos mecanismos de adaptação fisiológica, pois a vasodilatação periférica e o aumento da sudorese ocorrem previamente (BACCARI JÚNIOR, 2001).

A perda de calor pelo trato respiratório, assim como pela pele, implica em um processo de mudança de estado físico, de líquido para vapor, o que ocorre com o ar umedecido nas vias respiratórias superiores, assim como o suor. Tal processo se torna possível devido ao calor latente de vaporização. O gasto de energia despendido pelas vacas para eliminar calor do corpo, principalmente pelo aumento da FR e, também, pelo trabalho das glândulas sudoríparas para produzir mais suor, é um dos fatores que explicam a menor produção de leite sob estresse térmico, pois parte da energia do organismo é desviada do processo produtivo para a manutenção do equilíbrio fisiológico (BACCARI JÚNIOR, 2001).

Segundo Hahn et al. (1997), a frequência de  $60 \text{ mov min}^{-1}$  indica animais com ausência de estresse térmico ou que este é mínimo; mas, quando esta frequência ultrapassa  $120 \text{ mov min}^{-1}$  reflete carga excessiva de calor e, acima de  $160 \text{ mov min}^{-1}$ , medidas de emergência devem ser tomadas, como, por exemplo, molhar os animais.

Azevedo et al. (2005), trabalhando com vacas leiteiras de 3 grupos genéticos: 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu (HZ), observaram elevação da FR dos três grupos genéticos no período de verão; enquanto que a TR, no mesmo período, só se elevou nas vacas 3/4 e 7/8 HZ.

### **2.3.3 Temperatura da superfície do pelame**

A habilidade dos bovinos em resistir aos efeitos negativos do estresse térmico depende da sua adaptação genética e fisiológica ao ambiente. Um dos principais atributos que afetam a resistência desses animais ao calor é a superfície cutânea (MAIA, 2002).

O pelame representa a fronteira entre o ambiente e o corpo dos animais, podendo, desta forma, influenciar o balanço térmico. O papel termorregulador do pelame pode ser dividido em dois componentes: proteção contra o excesso de absorção da radiação solar e dissipação do calor da superfície do animal (SILVA, 2000).

As diferenças verificadas na atividade metabólica dos tecidos fazem com que a temperatura não seja homogênea no corpo todo e apresente variações de acordo com a região anatômica. A superfície corporal apresenta temperatura variável e mais sujeita às influências do ambiente externo (SILVA, 2000). Segundo Martello et al. (2002), a temperatura da pele de vacas holandesas alojadas em instalações climatizadas pode variar de 31,6 °C (às 6 h) a 34,7 °C (às 13 h), sem indicar estresse térmico animal.

A pele protege o organismo do frio e do calor e sua temperatura depende, principalmente, das condições de temperatura ambiente, umidade e características fisiológicas como vascularização e evaporação do suor. Desta forma, contribui para a manutenção da temperatura corporal mediante trocas de calor com o ambiente (BACCARI JÚNIOR, 2001). Segundo Cappa et al. (1989), a temperatura da pele de vacas Holandesas em lactação, medida em dois ambientes térmicos, com temperatura do ar entre 27 e 28 °C (condição quente) e entre 23 e 24 °C (condição fria), da ordem de 37,59 e 36,75 °C, respectivamente.

Os animais com superfície externa pigmentada e escura são mais sujeitos ao estresse pelo calor que os de coloração clara; os primeiros apresentam maior absorvidade da radiação solar, armazenando, assim, maior quantidade de energia térmica do que os animais com coloração clara. Esta última apresentaria maior refletividade, o que tem levado a maioria dos pesquisadores a aceitar a vantagem adaptativa dos pelames claros nos ambientes tropicais (SILVA et al., 2001).

Os efeitos do SRAE por aspersão, associados à presença de ventilação forçada e seus reflexos sobre a temperatura da pele foram avaliados por Brouk et al. (2001). Os resultados apontaram que os tratamentos associados à ventilação foram responsáveis por menores temperaturas de pele quando comparados com sistemas sem ventilação forçada. Martello (2002) obteve redução de 1,3 °C, Roma Júnior et al. (2001) de 2 °C, e Pinheiro et al. (2005) obtiveram redução de 0,95°C na temperatura da pele dos animais submetidos ao SRAE.

Segundo Arcaro Júnior et al. (2005), a temperatura da pele da região da cabeça, do dorso e da glândula mamária foi menor nas vacas submetidas a ventilação forçada e aspersão na sala de espera, durante 30 minutos, quando comparada à das vacas submetidas apenas a ventilação. A região da cabeça apresentou diminuição média de 4,2 °C. Na região do dorso essa diminuição foi de 2,8 °C e, na glândula mamária, de apenas 1,0 °C.

Segundo Baccari Júnior (2001), quando a temperatura da pele é mais elevada que a do ambiente, o organismo cede calor às moléculas de ar, dando início a uma troca térmica. Quando a temperatura do ambiente onde a vaca se encontra diminui, o animal dissipará mais calor, resfriando a sua temperatura corporal, o que explica a diminuição da temperatura da cabeça, dorso e glândula mamária verificada nos animais submetidos ao tratamento ventilação forçada e aspersão na sala de espera (ARCARO JÚNIOR et al., 2005).

É importante ressaltar que os efeitos evaporativos e convectivos na perda de calor não são facilmente separáveis. Assim, a velocidade do ar é um fator importante que influencia o processo de transferência evaporativa (KADZERE et al., 2002).

#### 2.4 Automação na produção de leite

Automação pode ser definida como sendo o sistema automático pelo qual mecanismos controlam seu próprio funcionamento, quase sem a interferência do homem. Pode-se ter automação de processos que envolva o controle pela instrumentação de etapas no processo de produção; e a automação do gerenciamento e tomada de decisões por meio de sistemas de informação. No início, as primeiras aplicações de instrumentação e controle na agricultura foram direcionadas para os produtos de maior valor agregado. Hoje, pode-se dizer que a automação agrícola é encontrada nos setores da produção vegetal e animal, pesquisa, ensino, extensão e planejamento (PAGLIS, 2002).

Segundo Lopes (1997) a automação não está presente apenas nas indústrias, já chegou ao campo, podendo melhorar a produtividade e reduzir perdas. Muitas tarefas de rotina de um sistema de produção de leite podem ser automatizadas (FARIA, 2001). Os sistemas de automação voltados à produção leiteira evoluíram muito nos últimos anos. A tecnologia atual possibilita a construção de sistemas controladores bastante eficientes. Na Figura 2 verifica-se a divisão da automação na produção leiteira.

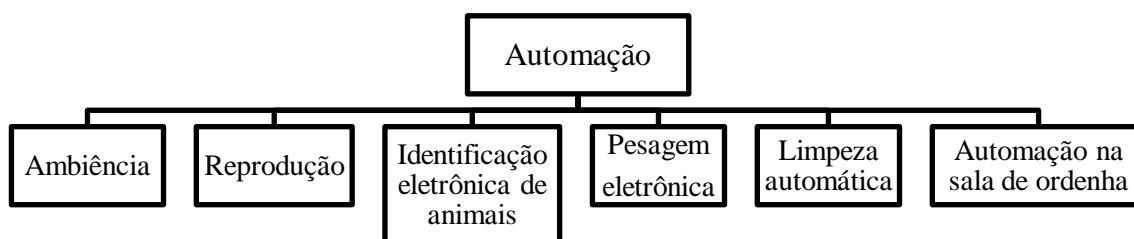


Figura 2 - Divisão da automação na produção leiteira.

Sistemas de automação têm grande potencial de uso na pecuária. Esses sistemas são utilizados na zootecnia de precisão, para automatizar processos, monitorar melhor os sistemas, otimizar a produção e reduzir perdas. Um sistema bem elaborado pode responder a situações de adversidade de forma inteligente, evitando que um problema se agrave. Em último caso, um sistema de alarme pode ser acionado, para chamar a atenção do produtor para possíveis problemas. Mesmo que o produtor esteja ausente da propriedade, é possível, por exemplo, que um sistema mais sofisticado disque para um telefone automaticamente e toque uma de várias mensagens pré-definidas, alertando o produtor ou responsável de plantão a respeito da ocorrência (NAÄS, 2002).

Em sistemas de produção animal, é possível reduzir perdas localizadas e melhorar a eficiência, utilizando princípios de zootecnia de precisão. Isso é feito por meio de rigoroso controle do uso de insumos, do rebanho e do ambiente. Uma das maneiras de reduzir perdas é pela identificação dos animais, que permite o tratamento diferenciado dos mesmos. Já é costume identificar animais de médio a grande porte. Para que a identificação permita a automação de certas tarefas, essa identificação deve ser eletrônica, com o uso de colar, pulseira ou implante. Seja qual for o dispositivo, um identificador eletrônico possui um transmissor que emite um número de série que permite identificar o animal e monitorar a sua atividade. A aplicação desse tipo de controle na pecuária leiteira permite que as vacas sejam identificadas automaticamente durante a ordenha. Dessa forma, a produção individual de leite pode ser medida e registrada automaticamente. Com base nessa produção, a quantidade de ração a ser fornecida para cada animal pode ser calculada. Aplicando o mesmo princípio, é possível controlar automaticamente a quantidade de ração que uma vaca, suíno ou outro animal, devidamente identificado, deva receber de acordo com sua fase de criação (SILVA, 1998).

O modelo conceitual de monitoramento integrado visando à produção e o bem-estar dos animais foi proposto por (FROST et al., 1997), como pode ser observado na Figura 3. Nota-se que toda a automação deve ter respaldo de alto nível de conhecimento das etapas do processo produtivo, compondo assim a interpretação das rotinas que subsidiarão a base de dados e os modelos matemáticos que regem o equacionamento dos diferentes pontos de estrangulamento da produção, visando a entrada de informações e a saída de comandos por meio dos sensores registradores.

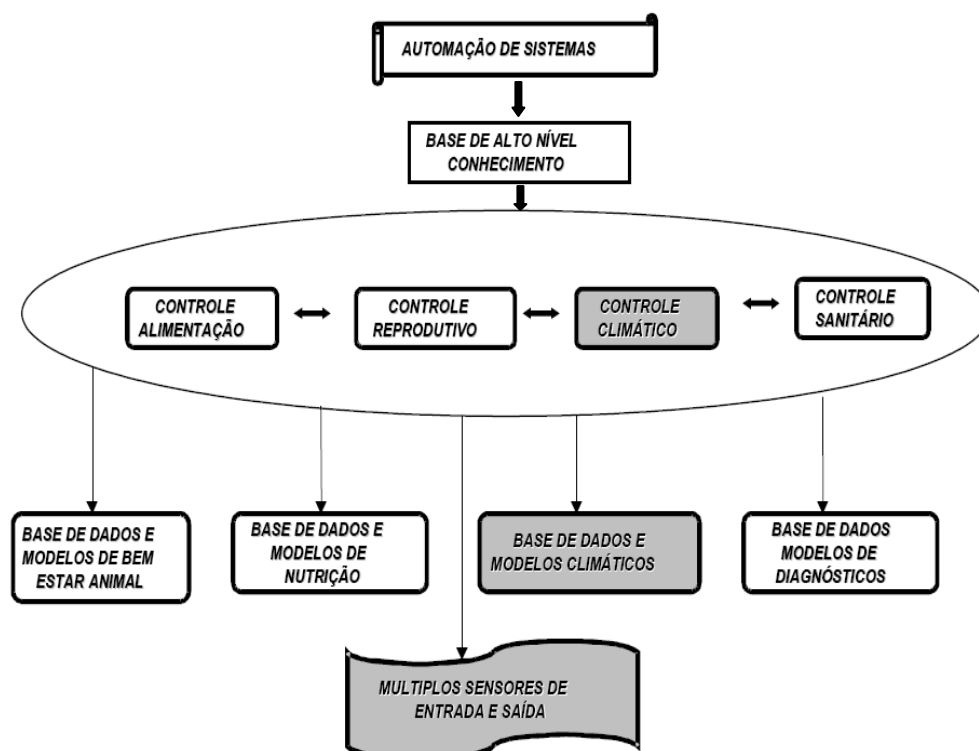


Figura 3 - Conceito de sistemas de monitoramento integrado para produção animal.

#### 2.4.1 Zootecnia de precisão

Nas últimas décadas novas ferramentas e técnicas têm sido introduzidas na produção animal (fazendas, granjas e indústrias) como suporte à decisão, especialmente para o gerenciamento, implantação de estratégias de alimentação, controle de fertilidade, e técnicas para promover saúde e conforto animal. Sistemas computacionais específicos foram desenvolvidos para o manuseio das variáveis acima relacionadas visando fornecer ao gerente/fazendeiro ferramentas adequadas e poderosas, e dispositivos indicadores de condições e situações específicas (MACHADO, 2002).

Em meados dos anos 70, foram realizados experimentos com transponders eletrônicos para alimentação individualizada de vacas e aquisição automática de dados (ROSING, 1976 & ROSING, 1978). Esta primeira geração de transponders era pendurada em colares colocados ao redor dos pescoços dos animais. Mais tarde, com a miniaturização da eletrônica, foi possível o desenvolvimento de transponders (segunda geração), os quais eram implantados sob a pele dos animais. Além do tamanho o preço também declinou drasticamente.

Segundo Näs (2002), com o avanço da microeletrônica as possibilidades de sua utilização na produção animal são crescentes, promovendo a redução de perdas pela

utilização de métodos de tomada de decisão mais avançados. A tecnologia dos biosensores tem grande potencial para a melhoria do bem-estar animal, saúde e produção.

De acordo com HOLROYD (2000), o futuro do comércio de proteína animal depende principalmente de como a indústria conduzirá os seguintes conceitos: honestidade, disponibilidade de informações, rastreabilidade, segurança/qualidade e flexibilidade para mudanças. O consumidor final estará procurando por produtos de boa qualidade, no lugar certo e na hora certa. Indo de encontro a tudo isto surge um novo conceito na produção de alimentos: Produção Animal de Precisão ou Zootecnia de Precisão (NAÄS & FIALHO, 1998). Entende-se por Zootecnia de Precisão a utilização de técnicas especiais e ferramentas que possibilitem manejos específicos em situações específicas que ocorrem no campo. O uso de tais técnicas e/ou ferramentas é direcionado para tomada de decisão e ações mais precisas do que aquelas baseadas em “valores médios” ou “valores típicos”. A Identificação por Rádio Frequência (*Radio Frequency Identification* - RFID) desempenha um papel importante nos sistemas de monitoramento eletrônico, os quais estão estreitamente relacionados com os sistemas de sensoriamento. A RFID é um importante instrumento utilizado pela Zootecnia de Precisão para promover a rastreabilidade animal. A identificação eletrônica possibilita conhecer a procedência animal, ganho de peso, vacinações, doenças. Tudo isto, com o mínimo estresse do animal.

#### **2.4.2 Automação dos sistemas para aumento do conforto animal**

Os sistemas de produção de leite tendem a focar, de maneira sistêmica: o bem-estar da vaca, a qualidade do leite produzido, a qualidade do trabalho da mão de obra e o ambiente físico final da produção, inclusive o tratamento a que estão submetidos os resíduos. A ênfase em cada um desses aspectos muda conforme mudam as tendências de produção.

O significativo avanço tecnológico da produção de leite observado na última década impôs profundas alterações nos sistemas de criação em favor de modelos com alto nível de confinamento.

A bovinocultura leiteira competitiva e altamente tecnificada tem exigido animais geneticamente melhorados, nutrição e manejos adequados, instalações planejadas e equipadas de forma a propiciar condições ambientais satisfatórias. Condições ambientais apropriadas estão diretamente relacionadas com a ambiência e qualidade do

ambiente. O conceito de qualidade do ambiente ideal para a produção industrial de animais está ligado aos princípios de conforto térmico, que são amplos e que por sua vez envolvem o microclima gerado dentro das instalações, influenciado pelas condições externas.

Esses conceitos estão relacionados com a redução otimizada de perdas, dentro de todo o processo gerenciado. Como cada segmento da produção é passível de melhorias, o todo também passa a apresentar maior eficiência. São diversas as formas de se atingir as condições de conforto dentro de uma propriedade leiteira sendo necessário, porém, buscar soluções práticas e econômicas, dentre elas, utilizar todos os mecanismos naturais e artificiais de controle do ambiente para produção de leite.

## **2.5 Controle do ambiente**

O projeto das instalações para o alojamento dos animais constitui um dos problemas estratégicos ligados à produção animal. Em alguns casos, pode ser responsável pelo insucesso do sistema produtivo. É de fundamental importância conhecer a influência dos elementos meteorológicos no desempenho animal, aliada à eficiência térmica da instalação, aspectos construtivos e do manejo dos animais, no sentido de adotar medidas que contornem os efeitos provocados pelo ambiente (PERISSINOTTO, 2003).

O controle eficiente do ambiente pode ser realizado utilizando sistemas naturais e artificiais. Métodos de controle naturais envolvem arborização ao redor das instalações, galpões abertos, altura adequada do pé direito, escolha adequada do local, orientação longitudinal da instalação na direção leste-oeste, cobertura reflexiva, beirais amplos e presença de lanternim. Já os mecanismos artificiais se referem, basicamente, a sistemas de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE), ou seja, sistemas mecânicos para redução da temperatura do ambiente com a utilização de vapor d'água como elemento de refrigeração. A água é um excelente agente resfriador, devido à sua alta capacidade calórica e ao elevado calor latente de vaporização (SILVA, 1999).

### **2.5.1 Climatização das instalações para bovinos de leite**

O SRAE tem se expandido rapidamente em climas quentes, devido à sua simplicidade técnica, praticidade e relação custo benefício favorável, resultando na sua aceitação por muitos produtores (LIN et al., 1998).

O resfriamento evaporativo é essencialmente um processo de saturação adiabática, em que não há perda nem ganho de calor. Nesse processo, ocorre a mudança do ponto de estado psicrométrico do ar, verificando-se elevação da umidade relativa e decréscimo na temperatura, mediante o contato do ar com uma superfície umedecida ou líquida. A pressão de vapor do ar insaturado a ser resfriado é menor que a da água de contato, fazendo com que ocorra a vaporização da água. A energia necessária para esta mudança de estado vem do calor sensível contido no ar e na água, resultando em decréscimo da temperatura de ambos e, conseqüentemente, do ambiente. Ao passar do estado líquido para o gasoso, a água retira do ambiente cerca de 580 Kcal para cada kg de água evaporada, dependendo da temperatura do ambiente (SILVA, 1998).

Os SRAE são agrupados em *misting* (nebulização a baixa e média pressão), *fogging* (nebulização a alta pressão) e *sprinkling* (aspersão). A diferença entre os sistemas *misting* e *fogging* consiste basicamente no tamanho das gotas.

O sistema de nebulização a alta pressão, associado ao de ventilação, produz uma névoa que se evapora com o fluxo de ar originado pelo ventilador, não molhando o piso. Este sistema é mais dispendioso inicialmente, e requer mais atenção do que o sistema ventilador-aspersor (SOUZA, 2003). O sistema *fogging* é o método mais eficiente de resfriamento do ar pelo menor tamanho das gotas, porém é mais caro do que o *misting* e requer maior manutenção.

Nos sistemas de nebulização, pequenas gotas de água são aspergidas no ar, resfriando-o, ao evaporarem. Quando o animal inala o ar resfriado, há troca de calor com o ar mais fresco e, conseqüentemente, remoção de calor do corpo. A grande vantagem do sistema de nebulização em relação à aspersão é que, quando bem ajustado, mantém o piso seco (BUCKLIN & BRAY, 1998).

Um nebulizador bem calibrado, com água limpa, é capaz de dividir uma gota d'água em aproximadamente 611 gotículas com diâmetro de 0,5 milímetros, possibilitando o aumento da área de abrangência do sistema (MARQUES, 1992). A linha de nebulização deve ser instalada separadamente da linha de ventilação, o que promove maior movimentação de ar e, a altura razoável (aproximadamente três metros). Maiores eficiências são encontradas em nebulização com alta pressão (*fogging*), em que o tamanho das gotículas é reduzido, aumentando a área coberta com o mesmo volume de água e também o tempo em que permanecerá flutuando antes de atingir o solo, favorecendo a evaporação. Há necessidade de dimensionamento para cada tipo de instalação, calculando-se o tamanho e o número de bicos, o número de linhas, o



posicionamento das linhas e a intermitência de funcionamento do sistema, evitando o aumento excessivo da umidade relativa do ar. A instalação aleatória pode causar aumento excessivo na umidade relativa, prejudicando os animais (SILVA, 1999).

A dissipação de calor por meios evaporativos pode ser facilitada com a aplicação de água na superfície corporal do animal. A água evapora e remove o calor, favorecendo as trocas entre a pele e o ambiente. Sendo assim, quando a temperatura ambiente for superior à temperatura crítica, a adoção de um sistema de aspersão apresenta-se como estratégia, a fim de aumentar a quantidade de calor perdido por meio da pele (DAVIS, 2001).

A aspersão não tem por finalidade resfriar o ar, pois emprega gotas com tamanho maior, de modo a promover o umedecimento dos pelos das vacas. O animal se resfria com a evaporação da água, através da pele e pelos, permitindo a troca de calor mais eficiente, quando comparada apenas com a sudorese. Quando associada à ventilação natural ou forçada, aumenta a eficiência do resfriamento, por acelerar o processo de evaporação (BUCKLIN & BRAY, 1998).

Segundo Arcaro Júnior et al. (2005), a eficiência de aplicação do SRAE depende da diferença entre as temperaturas de bulbo seco e úmido (depressão psicrométrica), a qual é característica para cada região. O uso do SRAE permitiu queda de 4 a 7 °C na temperatura em determinada região dos Estados Unidos, o que correspondeu a uma depressão psicrométrica, ao meio dia, de 7 a 9 °C. Acredita-se que a eficiência do sistema seja maior em climas quentes e secos, devendo ser tomados os devidos cuidados com diferentes manejos, principalmente em regiões úmidas.

Quando os animais são borrifados com gotículas de água (formando uma névoa), torna-se desejável que essa névoa permaneça no microambiente que circunda o animal, para que seja removida pelos ventiladores, resfriando o ambiente. Desta forma, a nebulização, associada à movimentação do ar proporcionada por ventiladores, acelera a evaporação (ARMSTRONG, 1994).

Frazzi et al. (1998) apontaram redução de 2 a 3 °C na temperatura interna da instalação e aumento da umidade relativa entre 10 e 15%, com o uso de sistema de nebulização de alta pressão.

Nas condições tropicais, Pinheiro et al. (2000) avaliaram os efeitos do sistema de resfriamento evaporativo por nebulização associada à ventilação, sobre a produção de leite de vacas Jersey e verificaram que as vacas mantidas no ambiente climatizado apresentaram produção média diária maior que as vacas no tratamento controle.

Poucos trabalhos descrevendo os efeitos do resfriamento evaporativo têm sido conduzidos em regiões de umidade relativa elevada. Nas condições em que a temperatura e umidade do ar forem elevadas, poderá ocorrer limitação na aplicação desse sistema, uma vez que o ar saturado irá inibir a evaporação da água pela pele e sistema respiratório, proporcionando um ambiente ainda mais estressante para o animal. Quando a umidade relativa é superior a 70%, o potencial de redução no ITU é inferior a 10% (BROUK et al., 2001).

Em períodos de temperaturas elevadas e com ocorrência de chuvas, situações características do verão nas condições tropicais, os sistemas de nebulização poderiam aumentar excessivamente a umidade relativa dentro da instalação. Essa umidade deve ser removida por meio de trocas de ar na instalação. A ventilação destes ambientes pode promover melhorias nas condições termo-higrométricas, podendo representar um fator de conforto térmico de verão, ao incrementar as trocas de calor por convecção e evaporação (SILVA, 1999).

O efeito da aspersão em vacas Holandesas, durante o verão, no Estado de Columbia (EUA), foi evidente, mesmo em verão moderado, em que o ITU foi ligeiramente superior, justamente no ponto em que a produção de leite começa a decrescer, resultando em acréscimo diário de 0,7 kg de leite por vaca (IGONO et al., 1987).

Estudo realizado com vacas holandesas alojadas em instalação parcialmente fechada, localizada no Vale do Pó (Itália), apontam que a velocidade de ventilação de  $0,5 \text{ m s}^{-1}$  reduziu os efeitos negativos do estresse térmico. Quando a ventilação foi associada à aspersão, ocorreu diminuição na taxa respiratória, aumento de 10 a 15% na umidade relativa e redução de 2,5 a 3,0 °C na temperatura ambiente, o que permitiu verificar que a utilização de ventiladores e aspersores foi eficiente em reduzir o estresse térmico (FRAZZI et al., 1997).

Estudos conduzidos na Flórida, por Bray et al. (1994), mostraram aumento de 11,7% na produção de leite de vacas estabuladas em *freestall* climatizado com ventiladores e nebulizadores. O sistema foi montado em cima do cocho de alimentação. A ventilação foi contínua, com velocidade do ar de  $3 \text{ m s}^{-1}$ , e controlada por um termostato que a fazia parar quando a temperatura atingia 22,2 °C. Os nebulizadores se localizaram abaixo dos ventiladores, sendo dimensionados para não molhar a cama, controlados por um termostato e por um timer, que os acionavam a intervalos de 1,5 min a cada 15 min, quando a temperatura se encontrava entre 24,4°C e 25,6 °C. O

consumo de água do sistema de resfriamento foi de aproximadamente 216 L dia<sup>-1</sup> animal<sup>-1</sup>, proporcionando resultados satisfatórios. Porém, a escolha adequada dos bicos e do intervalo de tempo de aplicação da nebulização pode diminuir o consumo de água para 70,7 L dia<sup>-1</sup> animal<sup>-1</sup>, mantendo um adequado resfriamento do ambiente para as vacas.

Armstrong (1994) observou aumento na produção de leite em bovinos leiteiros submetidos ao SRAE, usando ventilação associada a nebulização dentro do *freestall* em clima semiárido e com umidade relativa do ar em aproximadamente 30% (Tabela 1). De acordo com a Tabela 1, a utilização de sistemas de condicionamento térmico em instalações, com a finalidade de manter o conforto térmico de vacas leiteiras, proporciona ganhos em produção mais significativos, quando se utilizam animais mais especializados e quando o ambiente se encontra a temperaturas mais elevadas.

Tabela 1 - Aumento na produção de leite de vacas em diferentes estágios de lactação submetidas a ventilação associada a nebulização dentro do “*freestall*”

Diferentes estágios de produção e temperaturas diárias	Aumento na produção de leite (%)
Animais com produção >38,5 kg	
+40,5 °C	4
35-40 °C	3,2
+35,5 °C	2,8
Animais com produção entre 29,5 e 38,5 kg	
+40,5 °C	3,5
35-40 °C	2,8
+35,5 °C	2,5
Animais com produção < 29,5 kg	
+40,5 °C	3,2
35-40 °C	2,6
+35,5 °C	2,3

Fonte: Armstrong, 1994.

## 2.6 Automação dos Sistemas

Softwares de gestão rural vêm substituindo as cadernetas de campo enquanto que produtos como o transponder (microchip) e os brincos com códigos de barras são usados para garantir a qualidade e o controle das informações. Essas informações dizem respeito às características sanitárias da carne, e a produção individual de leite visando assegurar a participação do produtor nacional no mercado externo. Neste sentido, o primeiro passo é a identificação animal, procedimento que permite obter informações corretas acerca do processo de produção.

Um sistema de automação permite monitorar e controlar o funcionamento de um sistema físico de forma segura, rápida e automática. O monitoramento visa automatizar

o registro de ocorrências num dado sistema, bem como alertar o produtor em caso de situações excepcionais. O controle permite automatizar tarefas rotineiras e registrar respostas comuns a certas características do ambiente (em que ambiente significa tudo o que existe em torno do sistema de automação, inclusive animais). Existem inúmeros exemplos de sistemas de automação com os mais variados graus de complexidade. Todos eles, entretanto, têm alguns pontos comuns que os caracterizam. Um sistema de automação deve de alguma forma perceber o ambiente que o cerca e atuar nesse ambiente de modo razoavelmente previsível. Para isso, são necessários sensores e atuadores. Na maioria dos casos, também é necessário pelo menos um controlador inteligente e possivelmente um meio pelo qual diferentes unidades do sistema possam se comunicar com o meio externo (FIALHO, 1999).

A automação pode ser feita em diversos níveis, um deles é a implantação de um sistema de registro, composto de uma série de sensores e dispositivos para registrar e armazenar dados. Existem sensores de temperatura, pressão, umidade, níveis de determinados gases, pH etc. Cada tipo de sensor funciona à sua própria maneira, sendo necessário uma unidade microcontroladora para ler os dados obtidos pelos sensores, armazenar e/ou processar para gerar os protocolos de informação.

Outro nível de automação é a implantação de sistemas de controle que executam tarefas com base num conjunto de informações. Essas podem ser pré-programadas ou podem ser função de dados registrados por meio de sensores.

Um terceiro nível de automação é um sistema de registro de dados, capaz de armazenar dados registrados pelos sensores ou ações executadas por sistemas de controle. Essa informação pode ser processada posteriormente, ou pode se constituir num histórico de ocorrências na granja leiteira, que pode ser consultado no caso de qualquer eventualidade. Um exemplo pode ser um histórico da qualidade e temperatura do leite num tanque de refrigeração, que pode ser usado para comprovar se a mesma foi adequada e utilizada em tempo hábil.

### **2.6.1 Sensores na Pecuária**

A maioria dos sistemas de automação necessita de algum tipo de interface que lhe permita avaliar o estado atual do sistema. Essa interface geralmente consiste em sensores que medem características do sistema, tais como temperatura, intensidade luminosa, teor de determinados gases no ar, umidade, etc. Estabelecendo-se um paralelo com o corpo humano, os sensores correspondem aos olhos, ouvidos, papilas gustativas e

demais órgãos responsáveis pelos sentidos. Esses órgãos captam mensagens do ambiente e as transformam num pulso nervoso que é transmitido ao cérebro, onde essas mensagens são processadas. Da mesma forma, sensores captam mensagens do ambiente e as transformam num pulso elétrico. Esse pulso é geralmente transmitido a um controlador central, que reage à mensagem segundo um método pré-estabelecido. Um termostato é um exemplo extremamente simples de um sistema automatizado. Podem-se estudar as características de um termostato e relacioná-las com características gerais de sistemas de automação. Uma comparação desse tipo permite compreender alguns dos princípios fundamentais que devem estar presentes nesses sistemas (FROST et. al., 1997).

### **2.6.2 Atuadores**

Sistemas de automação não se resumem ao registro de informações a respeito de um sistema físico. Na sua maioria, eles também atuam sobre o sistema, geralmente em resposta a algum estado detectado pelos sensores. Por exemplo, além de detectar mudanças na temperatura ambiente, é preciso que o termostato seja capaz de ligar e desligar um ou mais aparelhos (aquecedores ou ventiladores). O mecanismo de funcionamento de atuadores é consideravelmente mais simples que o de sensores. Em geral, pulsos elétricos controlam quais aparelhos estarão ligados ou desligados. Em geral, a potência do pulso que sai do sistema de controle é baixa. Isso faz sentido, considerando-se que a principal função de um sistema de automação é o processamento e distribuição de informações. No entanto, frequentemente é necessário controlar aparelhos de maior potência, devendo o sinal de saída ser amplificado, com relés ou algum dispositivo semelhante. O número de tipos de atuadores é gigantesco. Basicamente qualquer sistema ou equipamento que podem ser controlados de uma forma ou outra podendo ter a função de atuador. Alguns exemplos gerais são motores (ou qualquer equipamento que tenha um motor), resistências elétricas, luzes, válvulas, etc.

### **2.6.3 Controladores**

Para que um sistema de automação cumpra sua tarefa, os sensores e atuadores devem funcionar em harmonia. Em geral, isso é feito utilizando-se um ou mais controladores para receber informação dos sensores, processar e transmitir informação aos atuadores. Controladores são circuitos elétricos com maior ou menor grau de

sofisticação. No exemplo do termostato simples com duas lâminas de metal, o mesmo dispositivo atua como sensor e atuador, não existindo um controlador separado. O microcontrolador deve ser programado em função dos sensores e atuadores que serão a ele conectados e dos demais componentes do sistema. Um esquema geral de um sistema de automação é mostrado na Figura 4.

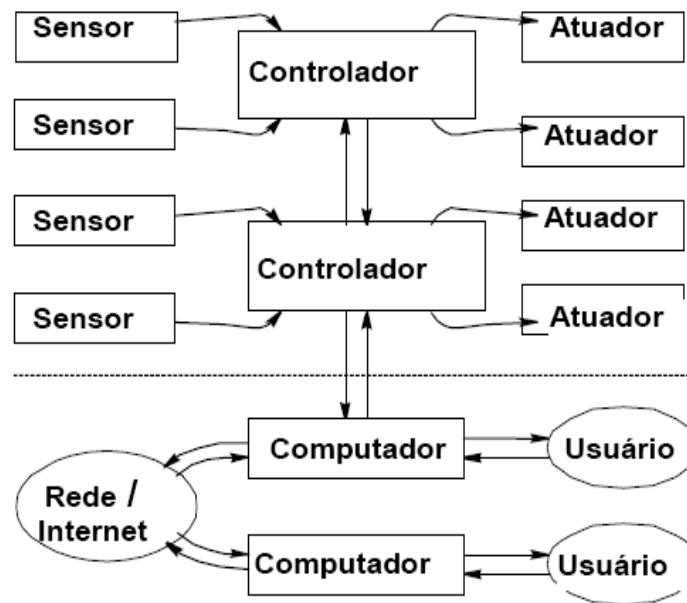


Figura 4 - Componentes e fluxo de informação em um sistema de automação hipotético.

Na Figura 4 observa-se um exemplo em que há dois controladores ligados entre si. Cada um deles recebe informação de dois sensores e controla dois atuadores. Como existe comunicação entre os controladores, é possível que um valor medido por um sensor acoplado ao primeiro controlador afete o modo de funcionamento de um atuador ligado ao segundo.

#### 2.6.4 Comunicação

Um sistema de automação pode ser constituído de uma única unidade de controle. Outra possibilidade é que existam várias unidades descentralizadas interligadas de modo semelhante a computadores ligados em rede, conforme pode ser visto na Figura 4. Nesse tipo de sistema, os diversos controladores trocam mensagens entre si, seguindo um protocolo pré-estabelecido.

Os padrões de funcionamento de uma rede de controladores podem ser estabelecidos de diversas formas. Um controlador pode funcionar de uma maneira

quando atua sozinho e de outra maneira quando ligado em rede. A rede pode servir apenas para configurar o funcionamento das unidades individuais ou pode definir cada uma das ações do controlador. Um dos controladores pode comandar os outros ou todos podem agir independentemente. A escolha mais adequada depende do tipo de sistema. Uma rede de comunicação sempre está sujeita a falhas (por exemplo, o cabo de comunicação pode ser cortado acidentalmente). Um sistema de automação bem projetado deve ser capaz de detectar e saber lidar com erros de comunicação. Os componentes do sistema devem funcionar de maneira adequada, caso ocorra interrupção nas comunicações.

A comunicação não se limita apenas à rede de controladores. Um ou mais controladores podem estar ligados a terminais de computador, de onde se pode controlar o sistema. Essa conexão pode ser permanente ou intermitente (é possível que um computador portátil seja conectado ao sistema apenas para programar e configurar o mesmo).

## **2.7 Geoestatística aplicada a produção animal**

As análises estatísticas “tradicionais”, baseadas na independência das observações, têm sido substituídas por análises espaciais, as quais consideram as correlações entre observações vizinhas (GONÇALVES et al., 2001).

Essas análises são baseadas na teoria das variáveis regionalizadas, formalizada por Matheron (1963), base da geoestatística, que considera as características estruturais e aleatórias de uma variável espacialmente distribuída, de forma a descrevê-la adequadamente (GONÇALVES et al., 2001).

Quando se realiza uma avaliação do microclima de ambientes, procura-se conhecer a escala de variação dos seus atributos ambientais. As informações necessárias para tanto são usualmente obtidas a partir de transeções, nas quais as propriedades de interesse são medidas em pontos dispostos com espaçamento constante (NASH et al., 1988). A geoestatística aplicada ao monitoramento do microclima requer que os dados sejam registrados em pontos cujas coordenadas são conhecidas, dentro da área, isso possibilita a obtenção da sua estrutura de variância.

Uma vez quantificada, a dependência espacial de variáveis ambientais como temperatura e umidade relativa do ar, pode ser utilizada para análise de conforto térmico em uma área, assim como pode ser usada na interpolação entre observações, permitindo

o mapeamento das variáveis ambientais dentro da área, por meio da krigagem. Esta técnica permite a estimativa de valores de forma não tendenciosa e com variância mínima. Faria et al. (2008) apresentam um estudo geoestatístico detalhado de vários atributos ambientais em *freestall*, no qual foram realizadas interpolações por krigagem para descrever a sua distribuição espacial.

A dependência espacial pode ser verificada por meio de ajustes de semivariogramas (VIEIRA, 2000), com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

em que  $N(h)$  é o número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  separados por uma distância  $h$ . O semivariograma é representado pelo gráfico  $\gamma(h)$  versus  $h$ . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\gamma(h)$  em que são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; patamar,  $C_0 + C_1$ ; e o alcance,  $a$ ).

Para analisar o grau da dependência espacial de atributos em estudo, pode-se utilizar a classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm efeito pepita  $< 25\%$  do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca  $> 75\%$ .

Miles et al. (2008), estudando a variabilidade temporal e a variabilidade espacial de compostos de nitrogênio e atributos climáticos de um galpão de frango de corte, encontraram dependência espacial para os atributos climáticos.

Apesar de sua complexidade formal, a geoestatística é baseada fundamentalmente em apenas dois conceitos: o semivariograma e a krigagem. O primeiro tem o papel de descrever a estrutura da variabilidade espacial e o segundo possui a função de prever, não-tendenciosamente e com variância mínima, os valores não medidos (PONTES e OLIVEIRA, 2004).



## CAPÍTULO I

### AUTOMAÇÃO NO CONTROLE DO MICROCLIMA NA PRÉ-ORDENHA DE BOVINOS LEITEIROS

#### RESUMO

Devido à importância do ambiente na produção animal e, portanto, do controle ambiental adequado, objetivou-se com este trabalho a construção de um sistema de monitoramento e controle das variáveis meteorológicas, temperatura e umidade relativa do ar, de baixo custo, associado a um sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE). O desenvolvimento do sistema controlador compreendeu as etapas de montagem, teste e aferição em laboratório e, posteriormente a etapa de validação do equipamento realizada a campo. A etapa de validação apresentou resultados que permitiram concluir que o sistema pode ser utilizado com segurança no monitoramento e controle dessas variáveis por meio dos atuadores. O controlador mostrou-se eficiente no manejo do microclima no curral de espera e permitiu a manutenção da temperatura do ar dentro da faixa de conforto para bovinos leiteiros na sala de pré-ordenha, apresentando média de 25,09 °C durante o turno da tarde. O equipamento apresentou custo inferior (R\$ 325,76) quando comparado a média de outros no mercado (R\$ 450,00).

**Palavra chave:** bovinocultura leiteira, conforto térmico, instrumentação

### AUTOMATION ON CONTROL OF THE MICROCLIMATE IN THE PRE-MILKING FOR DAIRY CATTLE

#### ABSTRACT

Due to the importance of the environment on animal production and thus environmental control, the paper aims to build a system for monitoring and control of meteorological variables, temperature and relative humidity, low cost, which can be associated with an evaporative cooling system (SRAE). The system development included all the stages of montage, test and laboratory calibration, and later the validation of the equipment carried in the field. The validation step showed results which allowed concluding that

the system can be safely used in the monitoring of these variables. The controller was efficient in management of the microclimate in the room pre-milking and allowed the maintenance of the air temperature within the comfort range for dairy cattle in the room pre-milking with averaged 25.09 ° C during the afternoon. The equipment showed the lower cost (R\$ 325.76) when compared to other middle market (R\$ 450.00).

**Keywords:** dairy cattle, thermal comfort, instrumentation

## INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira enfrenta constantes desafios diante da economia brasileira, e ainda apresenta problemas desde falta de informação até descaso. Uma das maiores limitações é a ausência de recursos de automação para o registro de dados no campo, implicando em muitos riscos para a rentabilidade e a sustentabilidade no setor (BOTEGA et al., 2008).

Para assegurar o abastecimento interno e competir no mercado internacional, a pecuária deve apresentar índices de eficiência e produtividade adequados, sem descuidar da proteção ao meio ambiente e do monitoramento da atividade (MAGNABOSCO et al., 2002). Para atingir tais metas, torna-se necessário incorporar em seus produtos e processos, os avanços da automação e informática. Um projeto de automação na pecuária visa atender aos diversos segmentos da atividade, o que compreende o desenvolvimento tecnológico de métodos, técnicas e ferramentas em instrumentação, mecanização, informática, integração de sistemas, processos e comunicação de dados (COSTA et al., 2002).

Nos trópicos, um dos maiores problemas na criação de bovinos leiteiros está na eliminação do calor corporal para o ambiente. Entretanto, este fator não está relacionado somente às altas temperaturas, mas à associação destas com a elevada umidade relativa e baixa movimentação do ar. As condições climáticas nessas regiões constituem os maiores desafios para os produtores, por alterarem os três processos vitais dos animais: a manutenção, a reprodução e a produção de leite (ARCARO et al., 2006).

A maioria dos sistemas de automação necessita de algum tipo de interface que lhe permita avaliar o estado atual do sistema. Essa interface geralmente consiste em sensores que medem variáveis do ambiente, tais como temperatura, intensidade luminosa, teor de determinados gases no ar, umidade, etc. Os sensores captam as variáveis e as transformam num pulso elétrico. Esse pulso é geralmente transmitido a

um controlador central, que reage ao estímulo segundo um método pré-estabelecido e envia a informação aos atuadores (FROST et. al., 1997).

A automação dos processos, nas propriedades leiteiras, ainda é uma realidade apenas para os grandes produtores de leite, com incorporação lenta e gradativa, justificada pelas restrições de disponibilidade financeira para grandes investimentos.

Sendo assim, este trabalho foi conduzido com o objetivo de desenvolver um sistema de monitoramento e controle das variáveis meteorológicas, temperatura e umidade relativa do ar, de baixo custo, o qual pode ser associado a um sistema de resfriamento adiabático evaporativo, com ênfase na otimização da produção leiteira.

### MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido junto ao Departamento de Tecnologia Rural, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE, compreendendo as etapas de montagem, teste e aferição do sistema controlador em laboratório e, posteriormente a etapa de validação do equipamento realizada a campo.

A montagem das placas incluindo a implantação de seus componentes eletrônicos e, por conseguinte, a ligação entre as mesmas para formar o circuito eletrônico de monitoração e controle das variáveis ambientais podem ser observadas na Figura 1.

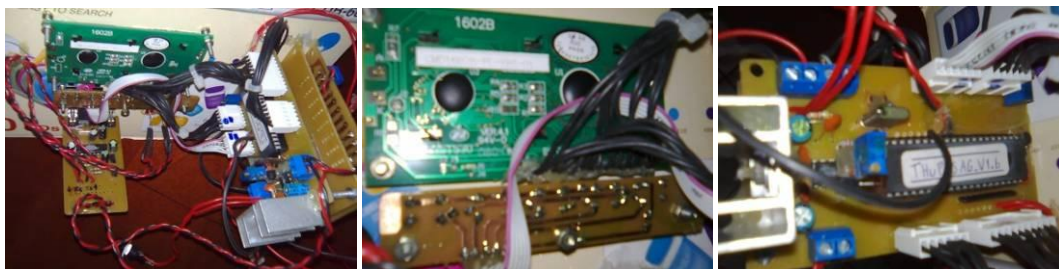


Figura 1 – Montagem dos módulos.

O controlador foi composto por uma caixa metálica com dimensões de 0,13 m de largura, 0,25 m de comprimento e 0,06 m de espessura. Dentro desta caixa haviam placas conectadas entre si formando um circuito eletrônico, e também outros componentes como display, botões, leds, chave para ligar e desligar o equipamento, porta fusível para proteger o equipamento de grandes variações na rede de alimentação, conectores do tipo DB, sendo um DB 9 utilizado para programação, um DB 15 que recebia informações dos sensores e um DB 25 que passava informação aos contactores (Figuras 2 e 3).



Figura 2 – Montagem do controlador (A), vista frontal do controlador (B), conector DB 25 para comunicação entre o controlador e os atuadores(C).



Figura 3 – Chave liga/desliga (A), entrada (DB 9) para programação (B) e comunicação (DB 15) com os sensores(C).

O controlador automático das variáveis ambientais foi desenvolvido em laboratório, utilizando *Proto-board* para ensaios e testes operacionais. As etapas que se procederam para teste, aferição (laboratório) e validação (a campo) foram feitas com auxílio do datalogger modelo HOB0 Pro HB8 (Onset Computer Corporation Bourne, MA, USA) para o registro da temperatura de bulbo seco (Tbs) e da umidade relativa do ar (UR%) com posterior comparação com as medidas realizadas pelo controlador, sua faixa de operação encontrava-se entre -20 e 70 °C (Tbs) e, 0 a 95% (UR%). Durante a etapa de validação também foram comparados os dados do ambiente externo, registrados em abrigo meteorológico situado a 100 m do curral de espera, com os dados obtidos pelo controlador no ambiente interno (curral de espera).

A etapa de validação do sistema controlador realizada no curral de espera, na pré-ordenha de bovinos leiteiros foi equipado com o sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE), composto por dois ventiladores axiais da marca Ventiave<sup>®</sup>, modelo P3D-Plus (Figura 4B), com diâmetro de 1,0 m, motor trifásico de 0,5 HP, vazão de 240 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>, 965 RPM, e velocidade de deslocamento da massa de ar de até 2,5 m s<sup>-1</sup>. No curral de espera esses ventiladores foram fixados na face sul, com espaçamento de 6 m entre os equipamentos, a uma altura de 2,5 m do piso (medido a partir do centro do

equipamento) e com inclinação, em relação à vertical, de 20°, direcionados para o piso (Figura 4B).

O sistema de nebulização foi composto por cinco linhas (tubo de polietileno), com quatro bicos nebulizadores por linha, marca Asbrasil, modelo Hadar 7110 (Figura 4C), com espaçamento de 1,5 m entre os bicos e entre as linhas, a uma altura de 3,0 m do piso. Esse sistema possuía uma bomba centrífuga da marca Schneider<sup>®</sup>, modelo BC-92SK, de 0,75 CV e motor trifásico, cujo consumo de energia era equivalente a 0,65 KW h<sup>-1</sup> (Figura 4A). A vazão de água nas linhas de nebulização foi de 240 L h<sup>-1</sup>.

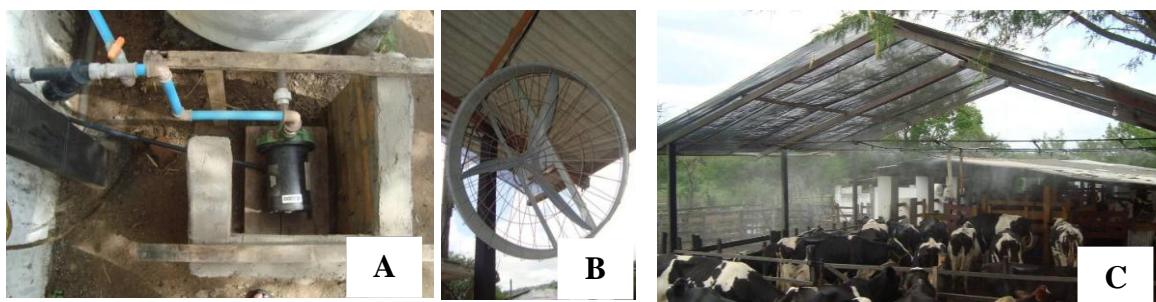


Figura 4 – Atuadores: conjunto motobomba (A), ventilador (B) e linha de nebulização (C).

O sistema controlador baseou-se em determinados parâmetros específicos de umidade relativa do ar e temperatura, o que permitiu reduções significativas de operações e no custo de aquisição dos dispositivos eletrônicos. Foram utilizados sensores semicondutores (LM35), com variação de até 0,25 °C, dentro da faixa de temperatura de -55 °C a 150 °C e sensor série HIH-4004, com variações de 0,5% dentro da faixa de umidade relativa de 0 a 90% e variações de até 3%, quando exposto a umidade acima de 90%. Esses sensores possuíam saída com baixa impedância, tensão linear e calibração inerente, fazendo com que a interface de leitura fosse simples, reduzindo o custo de todo sistema.

O equipamento operou da seguinte forma, os dados registrados pelos sensores de temperatura (LM35) e de umidade relativa do ar (HIH-4004) eram enviados para o controlador por meio de um cabo do tipo manga conectado ao aparelho em uma entrada DB 15. Quando o controlador recebia os dados, o mesmo processava e interpretava se precisaria ou não ligar ou desligar algum dos atuadores (ventiladores e nebulizadores) automaticamente. Esta interpretação dependia de como fosse feita a programação do controlador, ou seja, o equipamento atuava de acordo com os limites de temperatura e umidade relativa previstos pelo programador.

Para evitar falsas leituras, os sensores foram abrigados em um recipiente branco aberto na parte inferior para circulação do ar, pois uma vez que os sensores ficassem expostos diretamente a radiação solar, nebulização e ventilação poderiam alterar a leitura e assim implicar no mau funcionamento do controlador.

O SRAE foi ligado a um painel de potência e acionado automaticamente pelo controlador, o que permitiu o funcionamento do sistema de forma intermitente, durante a permanência dos animais no curral de espera. Os ventiladores e a bomba centrífuga eram acionados quando a temperatura ambiente ultrapassasse 26,0°C e a umidade relativa do ar fosse inferior a 65%, respectivamente.

Para desativar o sistema foi utilizado histerese de 1 (uma) unidade, tanto para temperatura como para umidade, ou seja, o controlador foi programado para desligar os ventiladores e a bomba centrífuga quando a temperatura ambiente atingisse uma unidade abaixo de 26,0°C (25°C) e umidade relativa uma unidade acima de 65% (66%), respectivamente.

#### **Características técnicas do controlador proposto:**

- Tensão de alimentação: 8 a 15 Vcc;
- Consumo: 61/81 mA com relés desligados, 198 mA com 2 relés operados;
- Capacidade para até 10 sensores: (requer ajustes de hardware);
- Entradas de sensores configuráveis (temperatura e umidade);
- Ajustes de “preset” e histerese via porta serial;
- Sensibilidade das entradas: 1,275 V (fundo de escala);
- Escala de temperatura: 0°C a 127,5 °C em passos de 0,5°C;
- Escala de umidade: 0 a 100% em passos de 0,5%;
- Tempo entre medições (aproximado): 8 s;
- Avanço automático ou manual de sensores;
- Display LCD 16x2 com luz de fundo verde, com opção liga/desliga;
- Teclado com funções para reset, menu, sair, avanço e recuo;
- Comunicação serial RS232 com fácil interface com o hyper terminal ou outro emulador de terminal (4800-8-n-1);
- Configurável via porta serial;
- Microcontrolador AT89S8252 MCS-51 INTEL, com 8 Kbytes de memória flash, 256 Bytes de memória RAM, 2 Kbytes de memória EEPROM, uma interface USART, 3 timers/counters.

### **Programação do controlador**

Para iniciar a programação foi necessária a realização de algumas etapas para configurar o “hyper” terminal (ANEXO) para em seguida o Windows criar uma conexão serial. A programação foi conduzida por meio da comunicação serial RS232 (conector DB 9) de interface simples utilizando o “hyper” terminal.

Existiam duas opções iniciais no ambiente de programação onde havia a tecla 1 (um) para iniciar e a 0 (zero) para interromper a transmissão de dados. Após iniciada a transmissão de dados, usava-se a tecla C para configurar valores de “preset” (valor de ajuste) e histerese para temperatura. Na configuração do “preset” e histerese digitava-se o valor do ajuste da variável ambiental com três algarismos sem vírgula (ex: 285 → 28,5 °C) e posteriormente realizava-se o mesmo processo para configuração da variável ambiental umidade relativa do ar.

Depois de executado todos os ajustes, usava-se a tecla S para salvar as modificações, caso contrário os ajustes seriam perdidos quando desligasse o equipamento (Figura 5).

### **Comandos para programação pela porta serial**

**1** – habilita transmissão de dados

**0** – desabilita transmissão de dados

**A** - alterna para o modo automático

**M** - alterna para o modo manual

**B** - liga e desliga luz de fundo do display

**>** - avança um sensor

**<** - recua um sensor

**H** – ler ajuda

**T** – retorna ao primeiro sensor

**S** – salva configurações atuais em memória não volátil

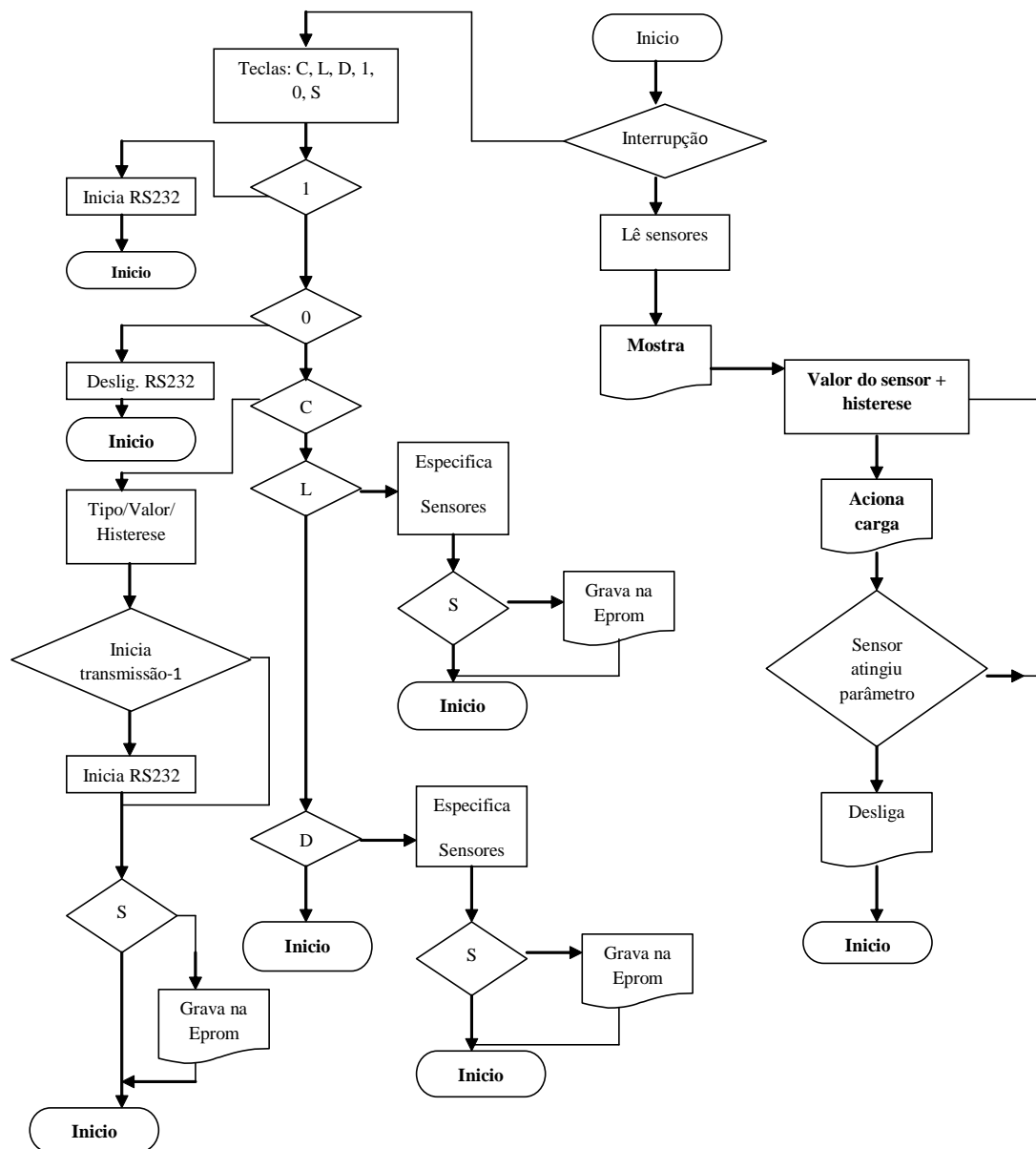


Figura 1 - Esquema em blocos do software operacional.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A etapa de teste realizada no ambiente natural interno ao laboratório mostrou que a relação funcional obtida pela regressão linear foi aceitável, em que se verificou coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,76 e 0,86 para temperatura (Figura 6) e umidade relativa do ar (Figura 7) respectivamente, com base nos dados de referência registrados pelo datalogger Pro HB8 HOBO e os dados obtidos pelo monitoramento do sistema controlador.



Testes preliminares apontaram a necessidade de calibração com ajuste da programação do controlador. Este resultado foi associado a duas causas simultâneas: os diferentes tempos de resposta dos instrumentos, fazendo com que cada um fornecesse valores de umidade e temperatura distintos, por não estarem em equilíbrio, e a interferência devido à falta de proteção para os sensores do controlador.

Para medidas de temperatura do ar os sensores devem ser protegidos da radiação solar durante o dia e do resfriamento causado pela irradiação de ondas longas durante a noite. As diferenças de temperatura entre o ar e os sensores são as principais causas de erro de medida. As proteções com circulação forçada de ar reduzem significativamente os erros de medida, porém as proteções com ventilação natural são também eficientes formas de proteção (MCKAY & MCTAGGERT-COWAN, 1977).

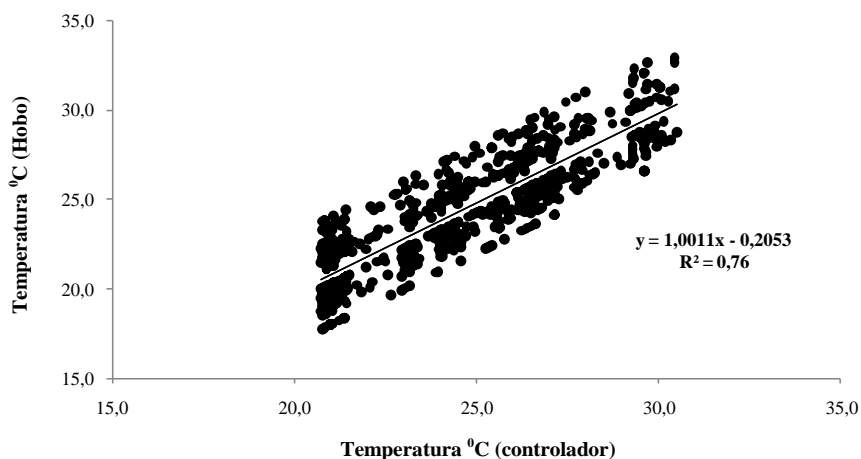


Figura 2 – Relação funcional entre os dados de temperatura do ar obtidos em laboratório pelo datalogger HOBO e pelo controlador na etapa de teste.

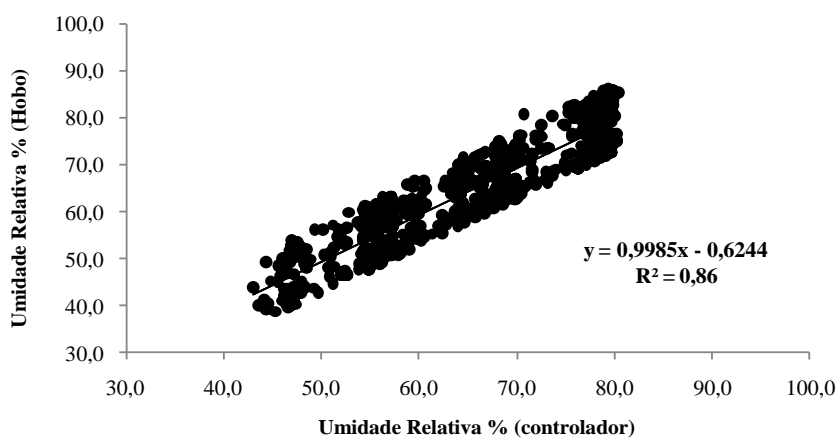


Figura 3 - Relação funcional entre os dados de umidade relativa do ar obtidos em laboratório pelo datalogger HOBO e do controlador na etapa de teste.

Diante deste resultado, na etapa de aferição procurou-se solucionar estes entraves, refazendo a programação para deixar suas leituras simultâneas com as do HOB0 e, a disposição dos sensores do controlador em abrigo, possibilitou melhor ajuste entre os equipamentos obtendo valores de  $R^2$  da ordem de 0,97 e 0,96 para temperatura (Figura 8) e umidade relativa do ar (Figura 9) respectivamente.

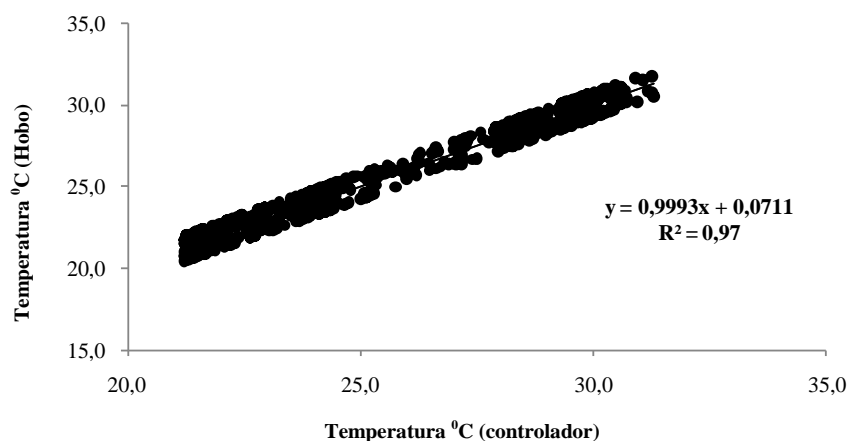


Figura 4 - Relação funcional entre os dados de temperatura do ar obtidos em laboratório pelo datalogger HOB0 e pelo controlador na etapa de aferição.

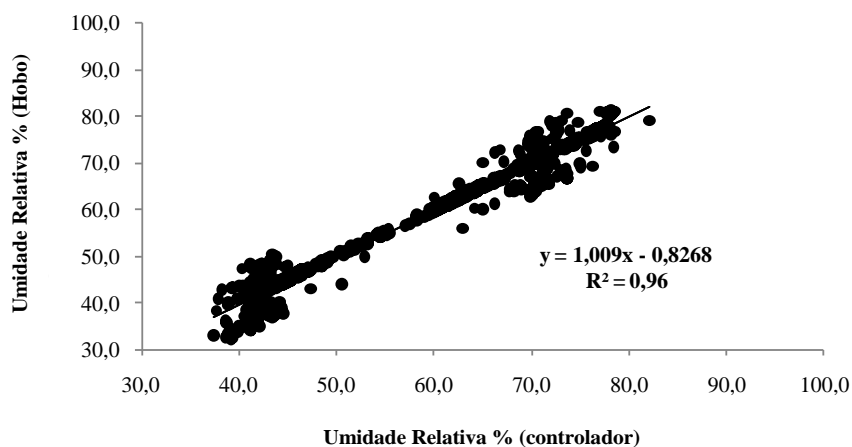


Figura 5 - Relação funcional entre os dados de umidade relativa do ar obtidos pelo datalogger HOB0 e do controlador na etapa de aferição.

A etapa de validação conduzida na sala de pré-ordenha, após as devidas alterações no equipamento em condição de laboratório, verificou-se ótimo ajuste entre os dados registrados pelo HOB0 e do sistema controlador, com valores de  $R^2$  da ordem de 0,95 e 0,94 para temperatura (Figura 10) e umidade relativa do ar (Figura 11) respectivamente. Estes resultados corroboram os obtidos por Silva et al. (2007) que desenvolveram um

sistema automatizado para aquisição de dados de umidade relativa do ar e encontraram coeficiente de determinação 0,99, quando comparado com instrumentação convencional.

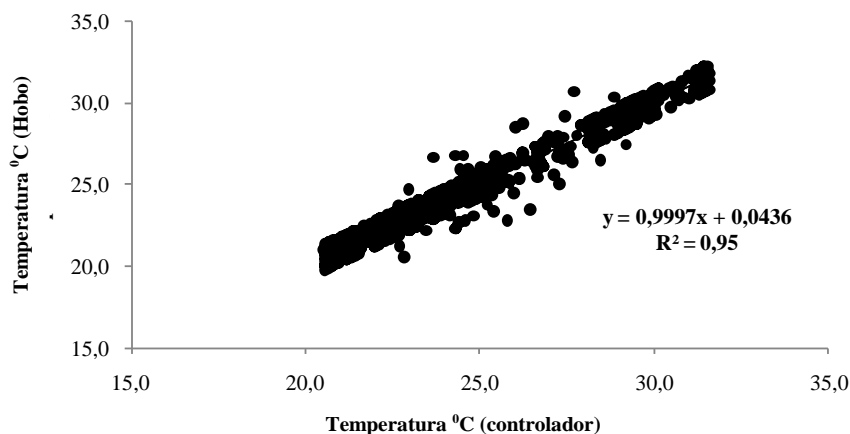


Figura 6 - Relação funcional entre os dados de temperatura do ar obtidos pelo datalogger HOB0 e pelo controlador na etapa de validação.

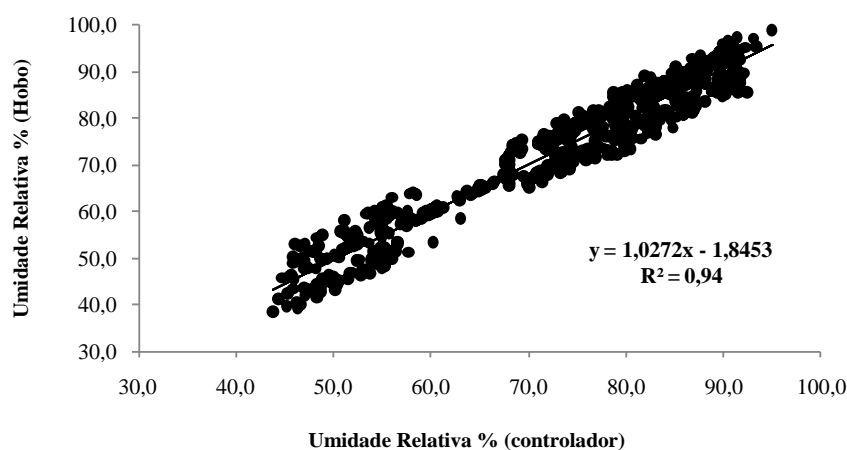


Figura 7 - Relação funcional entre os dados de umidade relativa do ar obtidos pelo datalogger HOB0 e pelo controlador na etapa de validação.

Esta etapa apresentou coeficientes de determinação bem próximos aos da etapa anterior, confirmando que o equipamento mostrou-se eficiente não só em condições de laboratório, mas também a campo. Após 40 min de climatização no curral de espera o equipamento mostrou-se eficiente no controle da temperatura do ambiente, mantendo-a abaixo da temperatura crítica superior de 26 °C (Perissinotto & Moura, 2007), com média de 25,09 °C, além de garantir o grau de automação necessário para o funcionamento intermitente dos atuadores (Figura 12).

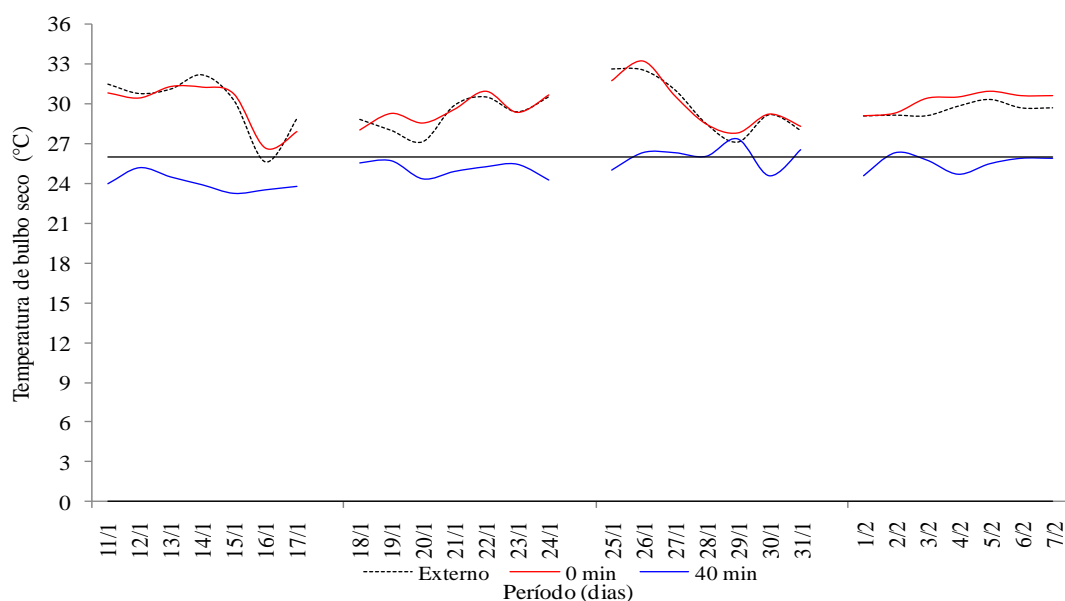


Figura 8 – Variação da temperatura de bulbo seco após 40 min de climatização e no abrigo meteorológico (ambiente externo) no turno da tarde (13h 30 min às 14h 10 min).

O custo do controlador incluindo todos componentes eletrônicos necessários para seu funcionamento foi de R\$ 325,76 (Tabela 1). Em termos comparativos com outros sistemas já existentes no mercado, como um controlador digital de temperatura e umidade relativa, modelo com dois canais, sendo um canal para temperatura e outro para umidade relativa do ar, requer um investimento de aproximadamente R\$ 453,00, ou seja, custo superior em R\$127,24, quando comparado com o protótipo desenvolvido neste trabalho.

Tabela 1 – Análise do custo do controlador de temperatura e umidade relativa.

Investimento inicial*	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Controlador*	1	293,39	293,39
Sensor LM35	1	3,87	3,87
Sensor HIH-4004	1	19,80	19,80
Cabo Tipo manga	2	4,35	8,70
<b>Total R\$</b>			<b>325,76</b>

\*Incluindo todos os componentes necessários para o seu funcionamento

## CONCLUSÕES

1. O sistema controlador pode ser utilizado com segurança no monitoramento e controle das variáveis ambientais, temperatura e umidade relativa ar, garantindo o grau de automação necessário para o acionamento intermitente dos atuadores na climatização de bovinos leiteiros.

2. O equipamento apresentou custo inferior quando comparado a média de outros modelos no mercado.

## REFERÊNCIAS

ARCARO, J. R. P.; ARCARO JUNIOR, I.; POZZI, C. R.; MATARAZZO, S. V.; DIB, C. C.; FAGUNDES, H.; COSTA, E. O. Efeitos do sistema de resfriamento adiabático evaporativo em free-stall sobre as respostas fisiológicas de vacas em lactação. **Boletim de Indústria Animal**, v. 63, p. 209-215, 2006.

BOTEGA, J. V. L.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; LOPES, M. A.; RABELO, G. F. Diagnóstico da automação na produção leiteira. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 635-639, 2008.

COSTA, D. O., MAGNABOSCO, C. D. U., FARIA, C. U., BARBOSA, V., PARANHOS, L. N. O. Proposta de controle e gestão pecuária. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CRIADORES E PESQUISADORES, 11., 2002, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2002.

FROST, A.R.; SCHOFIELD, C. P.; BEAULAH, S. A.; MOTTRAM, T. T.; LINES, J. A.; WATHES, C. M. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. **Computers and Eletronics in Agriculture**, n.17 p. 139-159, 1997.

MAGNABOSCO, C. D. U., REYES, A. D. L., SAINZ, R. D., FARIA, C. U., SAUERESSIG, M., MADUREIRA, A. P. Melhoramento Genético: um caso de sucesso. In: SIMPÓSIO 2002 NELORE NATURAL, 2002, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2002. p. 15-26.

MCKAY, D. J.; MCTAGGERT-COWAN, J. D. An intercomparison of radiation shields for auto stations. **World Meteorological Organization**, n. 480, p. 208-213, 1977.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v. 1, n. 2, p. 117-126, 2007.

SILVA, K. O.; MORAES, S. O.; MIRANDA, J. H.; PALMIERI, A. M. Sistema automatizado para aquisição de dados de umidade relativa do ar. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 630-638, set./dez. 2007.

## CAPÍTULO II

### **BENEFÍCIOS DA CLIMATIZAÇÃO AUTOMATIZADA NA PRÉ-ORDENHA DE VACAS GIROLANDO EM LACTAÇÃO**

#### **RESUMO**

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar os efeitos da climatização automatizada na pré-ordenha sobre o condicionamento térmico, fisiologia, produção de leite e relação custo/benefício do sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE) automatizado. Utilizaram-se 16 vacas com produção de 20 kg de leite d<sup>-1</sup>, adotando-se delineamento em quadrado latino 4 x 4 e comparação entre as médias pelo teste de Tukey (P < 0,05). Os tratamentos adotados foram os tempos de exposição dos animais ao SRAE no curral de espera, 0, 20, 30 e 40 min. A temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa (UR) foram registradas a cada minuto o que permitiu determinar a eficiência do sistema por meio do índice de temperatura e umidade (ITU) e entalpia (h). A frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR) e temperatura de pelame (TP) foram medidas antes e depois da climatização. O tratamento 40 min permitiu manter as variáveis ambientais e os índices de conforto entre os limites recomendados. As variáveis fisiológicas (FR, TR e TP) mostraram valores inferiores no tratamento 40 min, com aumento de 3,66% na produção de leite, quando comparado com o tratamento 0 min. O investimento promoveu acréscimo na receita mensal de R\$ 1.992,67 com tempo de retorno do capital de 40 dias.

**Palavras-chave:** automação, bovinocultura de leite, conforto térmico, resfriamento evaporativo

### **BENEFITS OF AUTOMATED CLIMATE CONTROL IN PRE-MILKING OF LACTATING COWS GIROLANDO**

#### **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the effects of cooling of automated of pre-milking cows on production, physiology, thermal conditioning and the cost-benefit of the Adiabatic Evaporative Cooling System (AECS) automated. Sixteen cows were used with an average daily milk production of 20 kg, distributed in 4 x 4 Latin square design.

The Tukey test ( $P < 0.05$ ) was utilized for means comparison. The treatments (0, 20, 30 and 40 min.) consisted of exposure of pre-milking cows to the AECS automated. The dry bulb temperature (DBT, °C) and relative humidity (RH, %) were recorded every minute, which allowed to determine the efficiency of the system through the Temperature and Humidity Index (THI) and enthalpy (h). The respiratory rate (RR), rectal temperature (RT) and temperature of the coat (TC) were measured before and after cooling. The 40 min. treatment kept the environmental variables and the comfort indexes within recommended limits. The physiological variables (RR, RT and TC) were lower in the 40 min treatment and reflected positively on milk production, which increased 3,66% compared to the treatment 0 min. The investment was profitable having a 40 day return on investment and a monthly revenue increase of R\$ 1.992,67.

**Keywords:** automation, dairy cattle, thermal comfort, evaporative cooling system

## INTRODUÇÃO

Com a evolução da bovinocultura, surgiu uma série de problemas metabólicos e de manejo, destacando-se, entre eles, o estresse calórico. A susceptibilidade dos bovinos ao estresse térmico aumenta à medida que o binômio umidade relativa/temperatura ambiente ultrapassa a zona de conforto térmico, o que dificulta a dissipação de calor que, por sua vez, aumenta a temperatura corporal, com efeito negativo sobre o desempenho do animal (FERREIRA et al., 2006).

A principal função das instalações é de oferecer conforto ao animal, permitindo que ele expresse seu potencial para produção. Devem ser construídas e planejadas com a finalidade principal de reduzir a ação dos elementos meteorológicos (insolação, temperatura, ventos, chuvas e umidade relativa do ar) que podem ter efeitos indesejáveis nos animais. As variáveis ambientais são controladas com diferentes materiais de construção, dimensionamento do espaço físico disponível, densidade e sistema de ventilação e resfriamento (SOUZA et al., 2007).

O curral de espera anexo à sala de ordenha é, na maioria das fazendas, a área mais estressante para as vacas em lactação. Quando o animal é confinado no curral de espera durante 15 a 60 min, duas ou três vezes ao dia, o estresse pode ocorrer mesmo a uma temperatura ambiente moderada (LIMA et al., 2007).

A eficiência do SRAE por aspersão ou nebulização associada à ventilação forçada na linha de alimentação foi avaliada em condições de clima tropical. Verificou-se que a

nebulização proporcionou menores valores de temperatura de bulbo seco e maiores valores de umidade relativa, devido à maior quantidade de vapor d'água produzida pelo sistema (PERISSINOTTO et al., 2006).

A necessidade que as propriedades agrícolas têm apresentado nos últimos anos em relação à melhoria contínua nos seus níveis de qualidade, produtividade e competitividade, passa também pelo desenvolvimento de soluções inovadoras que envolvem níveis diferenciados de automação (BOTEGA et al., 2008).

O panorama mundial aponta claramente para um futuro em que a agropecuária dependerá inevitavelmente da automação. A automação poderá auxiliar profundamente na sustentabilidade, tanto do processo produtivo como do desenvolvimento econômico e social. Sendo assim, a utilização de um sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE) automatizado, mostra-se como uma boa solução para melhorar de forma quantitativa a produção leiteira na região do nordeste brasileiro.

Nesse contexto, objetiva-se com esta pesquisa avaliar e quantificar os efeitos da climatização no curral de espera sobre o acondicionamento térmico ambiental, estado fisiológico, produção de leite e relação custo/benefício do sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE) automatizado, ou seja, associado ao controlador automático de variáveis ambientais e de baixo custo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado em uma propriedade comercial de produção de leite tipo B, Fazenda Roçadinho, no município de Capoeiras, PE, latitude de 8°36'33" S, longitude de 36°37'30" W e altitude de 733 m. O índice pluviométrico da região é de 588 mm por ano e temperatura média anual de 22,1 °C (BARROS et al., 1998). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como Bsh, semiárido (VIANELLO & ALVES, 2006).

O experimento foi realizado durante a estação de verão (janeiro a fevereiro de 2010), com duração de 28 dias divididos em 4 períodos (P1, P2, P3 e P4), totalizando 7 dias para cada período experimental, no entanto foram utilizados sete dias para adaptação dos animais ao sistema de resfriamento adiabático (SRAE) automatizado antes de iniciar o registro de dados; após adaptação, foram registradas as variáveis meteorológicas em cada tratamento e externas à instalação, bem como os dados fisiológicos e de produção dos animais.



Consideraram-se, como tratamentos, quatro tempos de climatização no curral de espera, 0, 20, 30 e 40 min, no qual os animais foram expostos ao SRAE automatizado, do tipo misting, antes da ordenha.

A seleção dos animais do experimento contou com 16 vacas girolando multíparas, em mesmo estágio de lactação (após o pico de lactação), submetidos a mesma alimentação, com composição genética de 7/8 Holandês-Gir, com peso médio de 500 kg e produção média de leite de 20 kg d<sup>-1</sup> sendo, então, divididas ao acaso em 4 grupos (G1, G2, G3 e G4) com quatro animais para cada grupo.

O curral de espera apresentava dimensões de 3 m de pé-direito, 8 m de largura e 6 m de comprimento (48 m<sup>2</sup>), com piso de pedra rejuntada com pasta de cimento; as referidas dimensões estão de acordo com a EMBRAPA (2009), que recomenda esta área para 20 animais adultos, com densidade de 2,4 m<sup>2</sup> animal<sup>-1</sup>. A cobertura foi feita com malha preta de sombreamento (70%), colocada em camada única sobre estrutura de madeira, sem fechamento lateral.

A composição do SRAE contou com dois ventiladores axiais da marca Ventiave<sup>®</sup>, modelo P3D-Plus, equipados com motor trifásico de 0,5 HP com diâmetro de 1,0 m, vazão de 240 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>, 965 RPM, e capacidade de produzir movimentação de ar de até 2,5 m s<sup>-1</sup>, instalados com espaçamento de 6 m entre equipamentos, a altura de 2,5 m do piso e inclinação, em relação à vertical, de 20°, direcionada para o piso.

O sistema de nebulização foi composto por cinco linhas (tubo de polietileno) com quatro bicos nebulizadores por linha, marca ASBRASIL, modelo HADAR 7110, com espaçamento de 1,5 m entre bicos e entre linhas e altura de 3,0 m do piso. Este sistema foi equipado com uma bomba centrífuga da marca Schneider<sup>®</sup>, modelo BC-92SK, motor trifásico de 0,75 CV, consumo de energia de 0,65 KW h<sup>-1</sup> e vazão de 240 L h<sup>-1</sup>.

O SRAE foi ligado a um painel de potência e acionado automaticamente pelo controlador, o que permitiu o funcionamento do sistema de forma intermitente, durante a permanência dos animais no curral de espera. Os ventiladores e a bomba centrífuga eram acionados quando a temperatura ambiente ultrapassasse 26,0°C e a umidade relativa do ar fosse inferior a 65%, respectivamente.

Para desativar o sistema foi utilizado histerese de 1 (uma) unidade, tanto para temperatura como para umidade, ou seja, o controlador foi programado para desligar os ventiladores e a bomba centrífuga quando a temperatura ambiente atingiu uma unidade abaixo de 26,0°C (25°C) e umidade relativa uma unidade acima de 65% (66%), respectivamente.

O painel de potência foi composto por um disjuntor trifásico da marca STECK SD C10 3P 400V – 50/60Hz ~ IEC50889 3000A, um medidor de energia trifásico AAKER, para contabilizar o consumo de energia elétrica, três conectores, dois contactores auxiliares trifásicos da marca SIEMENS 09A 220 3TF40-10 OXN18, sendo um para comandar a passagem de corrente para os ventiladores e outro para a bomba centrífuga, pois os mesmos eram acionados de forma independente. Além disso, o painel possuía duas chaves do tipo “push botton” para ligar o sistema manualmente caso fosse necessário.

O controlador foi composto por uma caixa metálica com dimensões de 0,13 m de largura, 0,25 m de comprimento e 0,06 m de espessura. Dentro desta caixa haviam placas conectadas entre si formando um circuito eletrônico, e também outros componentes como display, botões, leds, chave para ligar e desligar o equipamento, porta fusível para proteger o equipamento de grandes variações de corrente, conectores do tipo DB, sendo um DB 9 utilizado para programação, um DB 15 que recebia informações dos sensores e um DB 25 que passava informação aos contactores.

O sistema foi baseado no controle preciso da temperatura e umidade relativa do ar por meio de um sensor semicondutor LM35, com variações de até 0,75°C, dentro da faixa de temperatura de -55°C a 150°C, em conjunto com a monitoração da umidade relativa do ar pelo sensor série HIH-4004, com variações de 0,5%, dentro da faixa de umidade relativa de 0 a 100%. Ambos localizados no centro geométrico do curral de espera. Isso permitiu determinar as variáveis no interior da instalação, bem como sua correção sempre que necessário, acionando os atuadores. Esses sensores possuíam saída com baixa impedância, tensão linear e calibração inerente, fazendo com que a interface de leitura fosse simples, reduzindo o custo de todo sistema.

A comunicação dos sensores (LM35 e HIH-4004) com o controlador foi por meio de um cabo do tipo manga, conectado ao aparelho em uma entrada DB 15, quando o controlador recebia esta informação, o mesmo processava e interpretava se precisaria ou não, ligar ou desligar algum dos atuadores, automaticamente.

As variáveis meteorológicas foram registradas a cada minuto, no curral de espera e no ambiente externo (abrigo meteorológico localizado a 100 m do curral), por meio de dataloggers modelo HOBO Pro HB8 (Onset Computer Corporation Bourne, MA, USA) para o registro da temperatura de bulbo seco (Tbs) e da umidade relativa do ar (UR%).

Com vista à eficiência térmica do SRAE em conjunto com o controlador no curral de espera, determinou-se o índice de temperatura e umidade (ITU) proposto por THOM (1959).

Os parâmetros fisiológicos, temperatura retal (TR; °C), frequência respiratória (FR; mov min<sup>-1</sup>) e temperatura do pelame (TP; °C) foram registrados nos dois turnos de ordenha, das 4 h 30 min às 5 h 10 min e das 13 h 30 min às 14 h 10 min, duas vezes por semana, antes e depois da climatização.

Determinaram-se a temperatura média do pelame de acordo com Pinheiro et al. (2005), com registros de temperatura da cabeça, dorso, canela e úbere de cada animal, em seu respectivo tratamento, por meio da seguinte equação:

$$TP = 0,01 \cdot T_{\text{cabeça}} + 0,07 \cdot T_{\text{dorso}} + 0,12 \cdot T_{\text{canela}} + 0,08 \cdot T_{\text{úbere}} \quad (1)$$

A produção de leite (PL) foi quantificada individualmente para cada animal em seu respectivo tratamento, para as duas ordenhas diárias (manhã e tarde).

A análise técnico-econômica possibilitou a determinação da viabilidade de adoção do SRAE associado ao controlador, por meio da quantificação do consumo de energia elétrica (KW h<sup>-1</sup>) para os diferentes tempos de climatização, considerando a tarifa de energia paga no local de estudo, aquisição e instalação dos equipamentos. Para os cálculos também foi considerada a média do preço pago ao produtor de leite tipo B, comercializado na região do agreste pernambucano, no período correspondente ao experimento.

O custo fixo refere-se à depreciação gerada pela razão entre o valor do investimento e a vida útil e também ao custo de manutenção dos equipamentos, considerando-se a troca de bicos, filtros e sensores no decorrer de um ano, de acordo com as especificações do fabricante.

Consideraram-se, para o custo variável, o consumo com energia elétrica e água, a partir do tempo em que esses equipamentos permaneceram ligados (bomba e ventiladores).

O delineamento experimental adotado foi o quadrado latino 4 x 4, considerando-se 16 vacas distribuídas aleatoriamente em 4 grupos (G1, G2, G3 e G4) com 4 períodos experimentais (P1, P2, P3 e P4) e 4 tratamentos (0, 20, 30 e 40 min). Para a análise das variáveis estudadas (meteorológicas, índices de conforto, fisiológicas e produção) utilizou-se o software Statistcal Analysis System (SAS, 1992) e as inferências obtidas foram avaliadas pelo teste de Tukey (P < 0,05).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o primeiro turno de ordenha a temperatura e a umidade relativa do ar mantiveram-se dentro da zona de conforto térmico (ZCT) com temperatura do ar entre 4 e 26 °C, considerada por Perissinotto & Moura (2007), adequada para o conforto térmico de vacas em lactação. A umidade relativa estava acima do limite proposto na programação do controlador (65%). Com isso, o sistema não operou no turno da manhã.

Entretanto, durante o turno da tarde o sistema precisou funcionar, pois este turno apresentou valores de temperatura e umidade relativa do ar fora dos limites de conforto térmico considerados para vacas em lactação.

Nota-se, no turno da tarde, que o sistema de climatização foi eficiente na redução da temperatura ambiente, apresentando diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre todos os tratamentos com exceção entre os tratamentos 30 e 40 min, em que os tratamentos 20 (0,1 °C); 30 (0,6 °C) e 40 min (0,9 °C) ficaram abaixo da temperatura crítica superior (26 °C) e em relação ao tratamento 0 min, apresentaram redução de 4,0, 4,5 e 4,8 °C, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores médios diários das variáveis ambientais registrados na pré-ordenha, no turno da tarde.

Variáveis	Tratamentos				CV (%)
	0	20	30	40	
Tbs (°C)	29,9 a±1,43	25,9 b±0,99	25,4 c±1,03	25,1 c±1,02	8,37
UR (%)	56,9 c±8,89	74,6 b±3,63	76,5 ab±3,53	77,8 a±3,70	14,13
ITU	78,6 a±1,20	74,9 b±1,27	74,4 c±1,34	74,1 c±1,35	2,94

Médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem entre si a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Tbs – temperatura de bulbo seco; UR – umidade relativa; ITU – índice de temperatura e umidade.

Resultados semelhantes foram obtidos por Matarazzo et al. (2007a) e Arcaro et al. (2006) que atingiram a ZCT na pré-ordenha com exposição dos animais ao SRAE, durante 40 e 30 min, respectivamente.

A umidade relativa registrada nos tratamentos com climatização aumentou significativamente ( $P < 0,05$ ) com o tempo de funcionamento do SRAE automatizado, estando os tratamentos 20, 30 e 40 min superiores a 70%, portanto, acima da zona de conforto térmico, entre 50 e 70%, segundo recomendações de Souza et al. (2004); apesar disto, para Perissinotto & Moura (2007) quando a Tbs se encontra próximo ao limite superior da zona de termoneutralidade (26 °C), independente dos valores de UR,

a sensação de conforto térmico para vacas em lactação é muito boa.

Almeida et al. (2010) verificaram umidade relativa elevada com emprego do SRAE aplicado no curral de espera. Os valores encontrados foram 74,8 e 77,5 %, para os tratamentos com climatização no tempo de 20 e 30 min, respectivamente.

Os valores do potencial de redução da Tbs apresentaram variação inversamente proporcional aos verificados para a UR do ar, uma vez que o processo de resfriamento implica em incremento de umidade no ambiente.

Sempre que a UR aumenta para uma mesma temperatura, reduz-se o déficit de pressão de vapor, mas, também, a capacidade do ar em absorver umidade. A eficiência dos sistemas de resfriamento evaporativo é diretamente proporcional ao déficit de pressão de vapor local (CARVALHO et al., 2009).

A análise das médias para FR, para o turno da manhã, (Tabela 2) não apontou diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos 0, 20, 30 e 40; apresentando valores da ordem de 43,5; 46,1; 45,0 e 42,5  $\text{mov min}^{-1}$ , respectivamente. Estes valores de FR para vacas em lactação são considerados normais, entre 18 e 60  $\text{mov min}^{-1}$ , de acordo com Matarazzo et al. (2007b).

Tabela 2 - Valores médios dos parâmetros fisiológicos avaliados nos diferentes tratamentos no turno da manhã.

Variáveis	Tratamentos (min)				CV (%)
	0	20	30	40	
FR ( $\text{mov min}^{-1}$ )	43,5 a $\pm$ 7,27	46,1 a $\pm$ 9,33	45,0 a $\pm$ 8,21	42,5 a $\pm$ 5,58	16,87
TP ( $^{\circ}\text{C}$ )	30,1 a $\pm$ 0,83	30,0 ab $\pm$ 0,97	30,0 ab $\pm$ 0,61	29,8 b $\pm$ 0,81	2,62
TR ( $^{\circ}\text{C}$ )	38,4 a $\pm$ 0,29	38,4 a $\pm$ 0,16	38,3 a $\pm$ 0,19	38,3 a $\pm$ 0,14	0,51
PL (kg)	11,945 b $\pm$ 1,12	12,326 a $\pm$ 0,78	12,444 a $\pm$ 0,84	12,481 a $\pm$ 0,69	7,21

Médias seguidas das mesmas letras nas mesmas linhas não diferem entre si no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. FR – frequência respiratória; TP – temperatura de pelame; TR – temperatura retal; PL – produção de leite

No turno da tarde constatou-se diferença ( $P > 0,05$ ) na FR apenas entre os tratamentos 20 e 40 min; no entanto, verifica-se diferença significativa ( $P < 0,05$ ) quando comparamos os tratamentos com climatização (20, 30 e 40 min) com o tratamento 0 min, apresentando valores da ordem de 37,4; 36,5; 34,0 e 75,7  $\text{mov min}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 3), resultados que estão de acordo com os estudos realizados por Almeida et al. (2010) que também verificou redução na FR de 61,5 para 35,3  $\text{mov min}^{-1}$ .

min<sup>-1</sup>, para vacas lactantes da raça girolando, que tiveram acesso ao curral de espera equipado com SRAE, durante 30 minutos de exposição, na pré-ordenha da tarde.

Tabela 3 - Valores médios dos parâmetros fisiológicos avaliados nos diferentes tratamentos no turno da tarde.

Variáveis	Tratamentos (min)				CV (%)
	0	20	30	40	
FR (mov min <sup>-1</sup> )	75,7 a±8,68	37,4 b±4,04	36,5 bc±3,38	34,0 c±2,45	39,73
TP (°C)	39,5 a±4,46	33,3 b±1,01	32,6 b±1,33	32,0 b±0,96	11,14
TR (°C)	39,4 a±0,31	39,3 a±0,36	39,1 b±0,36	39,0 b±0,25	0,87
PL (kg)	7,764 b±0,84	7,962 a±0,72	7,919 a±0,54	7,978 a±0,60	8,63

Médias seguidas das mesmas letras nas mesmas linhas não diferem entre si no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. FR – frequência respiratória; TP – temperatura de pelame; TR – temperatura retal; PL – produção de leite

Segundo Ferreira et al. (2009) os bovinos se defendem do estresse térmico e recorrem a mecanismos adaptativos fisiológicos de perda de calor corporal para evitar a hipertermia. Desta forma, aumentam a frequência respiratória como mecanismo adicional à perda de calor por sudorese constituindo-se, ambos, em meios importantes de perda de calor por evaporação.

Os valores médios da TP, apresentou diferença significativa ( $P < 0,05$ ) apenas entre os tratamentos 0 e 40 min (30,1 e 29,8 °C), para o turno da manhã (Tabela 2) o que se atribui apenas ao tempo de descanso dos animais, pois o sistema de climatização não foi acionado pelo controlador; no turno da tarde as médias da TP indicaram redução significativa ( $P < 0,05$ ) nos tratamentos 20, 30 e 40 min, que apresentaram valores da ordem de 33,3; 32,6 e 32,0 °C, respectivamente, quando comparados com o tratamento 0 min, que apresentou valor de 39,5 °C, sem efeito significativo entre os tratamentos com climatização (Tabela 3). Os valores médios obtidos nos tratamentos 20, 30 e 40 min no turno da tarde, estão próximos do valor de 32,5 °C obtido por Perissinotto et al. (2006), para bovinos leiteiros submetidos a climatização.

A temperatura de superfície corporal depende da umidade, temperatura do ar e vento, e das condições fisiológicas, como vascularização e evaporação pelo suor. Assim, contribui para a manutenção da temperatura corporal mediante trocas de calor com o ambiente em temperaturas amenas, e sob condições de estresse pelo calor, as

perdas sensíveis são diminuídas e a evaporação torna-se o principal processo de perda de calor (FERREIRA et al., 2006).

No turno da manhã, a TR se manteve dentro dos valores fisiológicos normais (38 a 39 °C) sugeridos por Perissinotto et al. (2007), e não se constataram diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) para os valores médios nos tratamentos 0, 20, 30 e 40 min, que indicaram valores da ordem de 38,4; 38,4; 38,3 e 38,3 °C, respectivamente (Tabela 2).

Os valores médios no turno da tarde (Tabela 3) apontaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) na TR entre dos tratamentos 30 min (39,1 °C) e 40 min (39,0 °C) quando comparados com o 0 min (39,4 °C) e 20 min (39,3 °C), com redução de 0,3 °C e 0,4 °C respectivamente; verifica-se, ainda, elevação nos tratamentos 0, 20 e 30 min de (0,4; 0,3 e 0,1 °C) respectivamente, sob o limite considerado normal para TR (38 a 39 °C). Resultados semelhantes foram obtidos por Pinheiro et al. (2005), que trabalharam em sala de espera climatizada com exposição de vacas da raça Jersey em lactação, por 30 min (38,59 °C) e testemunha sem climatização (39,11 °C) apresentando redução de (0,52 °C).

Segundo Arcaro et al. (2006) o aumento da temperatura retal mostra que os mecanismos de liberação de calor se tornaram insuficientes para manter a homeotermia, porém para o tratamento 40 min, no turno da tarde, a TR permaneceu dentro da faixa considerada normal, sinal de que o SRAE automatizado foi eficiente na manutenção das respostas fisiológicas dos animais ao acondicionamento do microclima interno da instalação (Tabela 3).

Avaliando-se a produção do turno da manhã (Tabela 2) verifica-se diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos 20, 30 e 40 min, quando comparados com o tratamento 0 min. O aumento na produção, comparativamente com o tratamento 0 min, foi da ordem de 0,381; 0,499 e 0,536 kg, correspondente ao acréscimo de 3,09; 4,01 e 4,29% para os tratamentos 20, 30 e 40 min, respectivamente.

Esses resultados estão de acordo com Almeida et al. (2010) que encontrou maior produção de leite em vacas expostas ao SRAE durante 30 min antes da ordenha da manhã, (11,437 kg d<sup>-1</sup>) contra (10,799kg d<sup>-1</sup>) para as vacas que não receberam climatização, confirmando o efeito benéfico do SRAE.

Matarazzo et al. (2007b), encontraram acréscimo de 3,45% na produção de leite diária em vacas holandesas submetidas a climatização no curral de espera, durante 30 minutos, quando comparadas com as vacas que não receberam climatização no curral de espera.

A produção de leite no turno da tarde (Tabela 3) apresentou diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos que receberam climatização (20, 30 e 40 min) e o tratamento 0 min. O aumento na produção de leite, comparativamente com o tratamento sem climatização, foi da ordem de 0,198; 0,155 e 0,214 kg, correspondente ao acréscimo de 2,48; 1,96 e 2,68%, respectivamente, para os tratamentos 20, 30 e 40 min. Esses resultados corroboram os apontados por Barbosa et al. (2004) que encontraram diferença significativa na produção de leite de vacas que receberam água por aspersão, antes e após a ordenha (7,04 kg) contra (6,74 kg) para as vacas que não receberam aspersão.

Verifica-se, portanto, aumento médio na produção diária de leite, da ordem de 0,577; 0,652 e 0,748 kg vaca<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, referente ao acréscimo de 2,85; 3,20 e 3,66% para os tratamentos 20, 30 e 40 min, respectivamente.

Souza et al. (2004) também obtiveram resultados satisfatórios na produção de vacas leiteiras sob efeito da climatização, afirmando que o conhecimento das relações funcionais existentes entre o animal e o ambiente, facilita a adoção de técnicas que permitem elevar a eficiência produtiva.

Verifica-se, na Tabela 4, que o investimento inicial do projeto de climatização automatizada do curral de espera foi de R\$ 2567,36, cotação de janeiro de 2010. Este levantamento foi realizado levando-se em consideração a utilização do sistema de resfriamento adiabático evaporativo nos meses de janeiro a fevereiro de 2010.

Considerando que a área do curral de espera foi dimensionada para 20 animais e que o sistema só foi acionado no turno da tarde, fez-se uma projeção para 120 animais; portanto, o custo variável foi baseado no tempo de funcionamento do sistema de climatização com quatro horas de funcionamento diário, tempo necessário para realizar a ordenha de 120 vacas, de acordo com o manejo da fazenda.

Quanto ao consumo diário de água, consideraram-se quatro horas de funcionamento do sistema de nebulização com acionamento intermitente à tarde (13 h 30 min às 17 h 30 min), verificando-se que o custo variável mensal foi de R\$ 56,16 (Tabela 5) correspondendo a 43,8% do custo variável encontrado por Almeida et al. (2010) para funcionamento do SRAE durante quatro horas sem intermitência. O custo com a água utilizada no sistema foi estimado em R\$ 25,38 mês<sup>-1</sup>, correspondendo a uma média de R\$ 3,00 m<sup>-3</sup> de água, enquanto o gasto com energia elétrica para funcionamento do sistema de climatização (bombeamento de água para acionamento do sistema de nebulização e sistema de ventilação) foi de R\$ 30,78 mês<sup>-1</sup> (R\$ 0,21 KW h<sup>-1</sup>).



Almeida et al. (2010) constatou o custo para o funcionamento do sistema de R\$ 86,40  $\text{mês}^{-1}$  e R\$ 41,82  $\text{mês}^{-1}$  para consumo de água e de energia respectivamente.

Tabela 4 - Investimento e custos das instalações com nebulizadores e ventiladores.

Investimento inicial	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Vida Útil (anos)	Valor Total (R\$)	Depreciação
Ventiladores	2	450,00	15	900,00	60,00
Bicos nebulizadores	20	3,70	1	74,00	74,00
Bomba de água	1	665,00	10	665,00	66,50
Tubulação PVC	3	6,60	10	19,80	1,98
Tubulação polietileno	35	0,40	10	14,00	1,40
Filtro	1	45,00	1	45,00	45,00
Material elétrico	1	250,00	20	250,00	12,50
Material hidráulico	1	80,00	20	80,00	4,00
Mão-de-obra	2	50,00	20	100,00	5,00
Controlador	1	293,39	-	293,39	-
Contator auxiliar	2	29,45	16	59,00	3,68
Sensor LM35	1	3,87	68	3,87	0,057
Sensor HIH-4004	1	19,80	68	19,80	0,29
Cabo Tipo manga	10	4,35	-	43,50	-
Total R\$				2567,36	274,41
Depreciação mensal R\$				22,87	

Tabela 5 - Custo variável mensal do sistema.

Custo Variável	Valor Total
Consumo de água	25,38
Energia elétrica	30,78
Total R\$ por mês	56,16

A produção média diária de leite nos tratamentos 0 e 40 min foram de 19,710 e 20,458  $\text{kg vaca}^{-1} \text{d}^{-1}$ , respectivamente (Tabelas 2 e 3), o que gera variação de 0,748  $\text{kg de leite vaca}^{-1} \text{d}^{-1}$ ; extrapolando para 120 vacas em lactação, totalizam 89,76  $\text{kg d}^{-1}$  obtendo-se, no mês, o total de 2.692,8  $\text{kg de leite a mais na produção total da fazenda}$ , quando se verifica incremento mensal de R\$ 1.992,67 (Tabela 6). Almeida et al. (2010)

encontrou um acréscimo de 0,765 kg de leite vaca<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> no tratamento 30 min., onde extrapolando para 80 vacas verificou um incremento mensal de R\$ 1.266,84.

Tabela 6 - Valor monetário arrecadado durante o mês.

Item	Valor	Unidade
Número de Animais	120	UN
Aumento de produção/média diária/vaca	0,748	kg de leite
Total de leite produzido/dia	89,76	kg de leite d <sup>-1</sup>
Total de leite produzido/mês	2.692,8	kg de leite mês <sup>-1</sup>
Preço de leite in natura	R\$ 0,74	por kg de leite
Valor monetário/mês	R\$ 1.992,67	ao mês

Tem-se, na Tabela 7, o tempo de retorno do investimento em climatização, sabendo-se que, em relação ao preço do leite no período de janeiro a fevereiro, cotado a R\$ 0,74, o valor recebido pela venda do leite durante o mês foi de R\$ 1.992,67; subtraindo-se, deste valor, os custos variáveis e a depreciação, ter-se-á o valor do lucro real obtido pelo produtor. Por meio da razão entre o custo do investimento inicial e o valor monetário em dias (lucro), foi possível calcular o tempo de retorno do capital investido pelo produtor, em 40 dias. Esse cálculo também foi realizado para o tratamento 30 min onde se verificou um tempo de retorno de 46 dias. Almeida et al. (2010) utilizando SRAE em sala de pré-ordenha para bovinos leiteiros calculou o tempo de retorno do capital investido, em 58 dias, enquanto que com o SRAE intermitente e automatizado foi de 40 dias para o tratamento 40 min.

Tabela 7 - Tempo de retorno do investimento.

	Mensal	Diário
Depreciação	22,87	0,76
Custo variável	56,16	1,87
Produção de leite	1.992,67	66,42
Lucro do produtor	1913,64	63,79
Investimento inicial	2567,36	
Total de dias para o retorno de investimento	40 dias	

Desta forma, observou-se que, no presente estudo, o retorno do investimento no

SRAE associado ao controlador foi compensador, indicando que a utilização deste recurso para redução do estresse térmico em bovinos leiteiros seria uma alternativa técnica e economicamente viável e, portanto, disponível ao produtor rural.

### CONCLUSÕES

1. A exposição dos animais a climatização por 40 min, possibilitou melhor acondicionamento térmico ambiental tendo, como resposta menores valores para as variáveis fisiológicas: temperatura retal, frequência respiratória e temperatura do pelame, promovendo aumento de 3,66% na produção de leite.

2. O investimento em climatização automatizada no curral de espera para vacas de leite em lactação foi satisfatório e lucrativo, com tempo de retorno do capital investido de 40 dias.

### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; GUISELINI, C.; ALMEIDA, G. A. P.; MORRILL, W. B. B. Investimento em climatização na pré-ordenha de vacas girolando e seus efeitos na produção de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1337-1344, 2010.

ARCARO, J. R. P.; ARCARO JUNIOR, I.; POZZI, C. R.; MATARAZZO, S. V.; DIB, C. C.; FAGUNDES, H.; COSTA, E. O. Efeitos do sistema de resfriamento adiabático evaporativo em free-stall sobre as respostas fisiológicas de vacas em lactação. **Boletim de Indústria Animal**, v. 63, p. 209-215, 2006.

AZEVEDO, M.; PIRES, M. F. A.; SATURNINO, H. M.; LANA, A. M. Q.; SAMPAIO, I. B. M.; MONTEIRO, J. B. N.; MORATO, L. E. Estimativas de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebú, em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 2000-2008, 2005.

BARBOSA FILHO, J. A. D.; SILVA, M. A. N.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. O. Avaliação direta e prática: caracterização do ambiente interno de galpões de criação de frangos de corte utilizando tabelas práticas de entalpia. **Avicultura Industrial**, São Paulo, v. 1144, p. 54-57, 2006.

BARBOSA, O. R.; BOZA, P. R.; SANTOS, G. T.; SAKAGUSHI, E. S.; RIBAS, N. P. Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas da raça Holandesa durante o verão. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 115-122, 2004.

BARROS, A. H. C.; BRAGA, C. C.; SILVA, E. D. V.; BRITO, J. I. B. **Processamento dos dados de precipitação e temperatura de Pernambuco**. Campina Grande: UFPB, 1998. v. 2.

BOTEGA, J. V. L.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; LOPES, M. A.; RABELO, G. F. Diagnóstico da automação na produção leiteira. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 635-639, 2008.

CARVALHO, V. F.; YANAGI JUNIOR, T.; FERREIRA, L.; DAMASCENO, F. A.; SILVA, M. P. Zoneamento do potencial de uso de sistemas de resfriamento evaporativo no sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 358–366, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/GadoLeiteiroZonaBragantina/paginas/instalacoes.htm>. 27 Out. 2009.

FERREIRA, F.; CAMPOS, W. E.; CARVALHO, M. F.; PIRES, M. L.; MARTINEZ, M. V. G. B.; SILVA, R. S.; VERNEQUES, P. F. Taxa de sudação e parâmetros histológicos de bovinos submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 4, p. 763-768, 2009.

FERREIRA, F.; PIRES, M. F. A.; MARTINEZ, M. L.; COELHO, S. G.; CARVALHO, A. U.; FERREIRA, P. M.; FACURY FILHO, E. J.; CAMPOS, W. E. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 58, n. 5, p. 732-738, 2006.

LIMA, K. A. O.; MOURA, D. J.; NAAS, I. A.; PERISSINOTTO, M. Estudo da influência de ondas de calor sobre a produção de leite no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v. 1, p. 63-73, 2007.

MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; PINHEIRO, M. G.; SILVA, S. L.; ROMA JÚNIOR, L. C. Avaliação do microclima de instalações para gado de leite com diferentes recursos de climatização. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.263-273, 2004.

MATARAZZO, S. V.; SILVA, I. J. O.; PERISSINOTO, M.; FERNANDES, S.A.A.; MOURA, D. J.; ARCARO JUNIOR, I.; ARCARO, J. R. P. Monitoramento eletrônico das respostas comportamentais de vacas em lactação alojadas em freestall climatizado. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v. 1, p. 41-49, 2007a.

MATARAZZO, S. V.; SILVA, I. J. O.; PERISSINOTO, M.; FERNANDES, S. A. A.; ARCARO JUNIOR, I.; ARCARO, J. R. P. Eficiência de sistemas de climatização na área de descanso em instalação do tipo freestall e sua influência nas respostas produtivas e fisiológicas de vacas em lactação. **Boletim de Indústria Animal**, v. 64, p. 221-232, 2007b.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v. 1, n. 2, p. 117-126, 2007.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; CRUZ, V. F. Avaliação da produção de leite em bovinos utilizando diferentes sistemas de climatização. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 30, n. 1, p. 135-142, 2007.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; MATARAZZO, S. V.; SILVA, I. J. O.; LIMA, K. A. O. Efeito da utilização de sistemas de climatização nos parâmetros fisiológicos do gado leiteiro. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 663-671, 2006.

PINHEIRO, M. G.; NOGUEIRA, J. R.; LIMA, M. L. P.; LEME, P. R.; MACARI, M.; NÄÄS, I. A.; LALONI, L. A.; TITTO, E. A. L.; PEREIRA, A. F. Efeito do ambiente pré-ordenha (sala de espera) sobre a temperatura da pele, a temperatura retal e a produção de leite de bovinos da raça jersey. **Revista Portuguesa de Zootecnia**, Portugal, v. 12, n. 2, p. 37-43, 2005.

SAS, Statistical Analysis System: realease 6.08, (software). Cary: Sas Institute 1992. 620 p.

SOUZA, S. R. L.; NÄÄS, I. A.; KARASAWA, S.; ROMANINI, C. Análise do investimento em climatização para bovinos de leite em sistema de alojamento free-stall. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 255-262, 2004a.

SOUZA, S. R. L.; NAAS, I. A.; MARCHETO, F. G.; SALGADO, D. D. Análise das condições ambientais em sistemas de alojamento free stall para bovinos de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, p. 299-303, 2004b.

SOUZA, S. R. L.; NAAS, I. A.; MOURA, D. J. Preferências térmicas de vacas leiteiras em sistema de confinamento freestall. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v. 1, p. 44-54, 2007.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, p.57-59, 1959.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicada**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. 583 p.

### **CAPÍTULO III**

## **ANÁLISE ESPACIAL DA EFICIÊNCIA DE CLIMATIZAÇÃO NA PRÉ-ORDENHA DE BOVINOS LEITEIROS COM APLICAÇÃO DA GEOESTATÍSTICA**

### **RESUMO**

Objetivou-se com este trabalho caracterizar a variabilidade espacial da temperatura do ar na sala de pré-ordenha com o emprego da técnica de geoestatística na avaliação da eficiência do sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE) automatizado. A variável temperatura do ar foi amostrada em 35 pontos, em intervalos regulares de 1m, na forma de malha, para o estudo da variabilidade espacial e a construção de mapas de krigagem. Foram considerados diferentes tempos de exposição dos animais ao SRAE automatizado no curral de espera, 0, 20, 30 e 40 min. Por meio dos resultados obtidos, foi possível verificar que o uso da geoestatística possibilitou definir áreas com diferentes variabilidades espaciais para o atributo temperatura, definindo áreas específicas na sala de pré-ordenha que apresentaram valores acima do recomendado para o conforto térmico animal. O sistema de climatização garantiu melhor acondicionamento térmico no tempo de exposição de 40 min, obtendo temperatura média dentro da condição de conforto térmico para vacas em lactação.

**Palavras-chave:** ambiência, bem-estar, automação, variabilidade espacial

### **SPATIAL ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE COOLING SYSTEM IN THE PRE-MILKING DAIRY CATTLE, WITH GEOESTATÍSTICS APPLICATION**

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to characterize the spatial variability of air temperature in the pre-milking room using the geostatistics technical to evaluate the efficiency of the adiabatic evaporative cooling system (AECS) automated. The air temperature was sampled at 35 points, in regular intervals of 1m, as a grid, to study the spatial variability and the kriging maps construction. There were considered different times of exposure of the animals to the AECS in the stable waiting pen automated, 0, 20, 30 and 40 min.

Through the results, was observed that the use of geostatistics enabled to define areas with different spatial variability for the temperature, defining specific areas in the pre-milking room that showed values above the recommended levels for the thermal comfort. The cooling system has ensured the better thermal condition with the 40 min to exposure, obtaining an average temperature within the thermal comfort condition for lactating cows.

**Key words:** ambience, welfare, automation, spatial variability

## INTRODUÇÃO

O manejo do ambiente tem sido amplamente difundido, no sentido de melhorar as condições de conforto do animal, em função da influência dos atributos climáticos no sentido de favorecer ou prejudicar o seu desempenho. Este manejo engloba as estratégias usadas para reduzir os problemas existentes na relação animal-ambiente.

Em alguns sistemas de produção de leite, usa-se a aspersão de água combinada a ventiladores, para aliviar o estresse por altas temperaturas. Experimentos demonstram que, com esta prática, vacas girolando aumentaram sua produção em 4,35% no agreste pernambucano (ALMEIDA et al., 2010), 14,73% em Nova Odessa, SP (MATARAZZO et al., 2007) e 15,8% a mais no Kentucky, Estados Unidos (COLLIER et al., 2006).

Perissinotto et al. (2006), estudando o efeito da climatização nos parâmetros fisiológicos de gado leiteiro, verificaram que os sistemas de resfriamento, nebulização e aspersão, ambos associados à ventilação forçada, reduziram significativamente a temperatura máxima do abrigo em relação à temperatura do ambiente externo.

Para melhor avaliar o ambiente de produção animal, têm-se buscado o auxílio de métodos inovadores, ferramentas não invasivas de avaliação e controle do bem-estar para animais confinados.

Quando uma variável se difere de um local para outro com algum grau de continuidade, expresso pela dependência espacial, a geoestatística possibilita uma visão espacial útil ao planejamento e ao controle das informações do ambiente de produção, permitindo a interpolação por meio da krigagem, apresentando a vantagem de fornecer mapas de isolinhas precisos (VIEIRA, 2000).

A modelagem geoespacial e a interpolação por krigagem permitem a descrição quantitativa da variabilidade espacial de atributos microclimáticos em ambientes

construídos e a estimativa não-tendenciosa, com variância mínima de valores desses atributos em locais não amostrados.

Conhecer a variabilidade espacial do microclima no curral de espera para bovinos leiteiros é um fator indispensável. O atributo temperatura influencia no comportamento, no bem-estar e na produtividade dos animais no curral de espera. Portanto, o estudo da variabilidade espacial deste elemento climático e a construção de mapas de krigagem podem auxiliar no manejo correto dos animais antes da ordenha.

Miragliotta et al. (2006) e Faria et al. (2008) estudando a variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de frangos de corte e bovinos de leite, respectivamente, observaram por meio do mapa de krigagem que o galpão não apresentava uniformidade para umidade relativa do ar, promovendo desconforto para os animais confinados.

Neste contexto, esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de caracterizar a variabilidade espacial da temperatura do ar na sala de pré-ordenha com o emprego da técnica de geoestatística na avaliação da eficiência do sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE) automatizado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma propriedade comercial de produção de leite tipo B, Fazenda Roçadinho, no município de Capoeiras, PE, latitude de 8° 36' 33" S, longitude de 36° 37' 30" W e altitude de 733 m. O índice pluviométrico da região é de 588 mm por ano e temperatura média anual de 22,1 °C (BARROS et al., 1998). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como Bsh, semiárido (VIANELLO & ALVES, 2006).

A pesquisa foi conduzida durante a estação de verão (11 de janeiro a 7 de fevereiro de 2010), com duração de 28 dias divididos em 4 períodos (P1, P2, P3 e P4), totalizando 7 dias para cada período experimental. O registro de dados foi realizado em janeiro nos dias 12 e 14 no (P1); 19 e 21 no (P2); 26 e 28 no (P3) e nos dias 2 e 4 de fevereiro durante o P4, na segunda ordenha no turno da tarde (13h 30 min às 14h 10 min).

Para análise da eficiência do SRAE foram considerados quatro tempos de climatização no curral de espera, 0, 20, 30 e 40 min, que contou com 20 vacas girolando múltíparas em lactação, expostas ao SRAE automatizado, antes da ordenha.



O curral de espera apresentava dimensões de 3,0 m de pé-direito, 8 m de largura e 6 m de comprimento (48 m<sup>2</sup>), com piso de pedra rejuntada com pasta de cimento; referidas dimensões estão de acordo com a EMBRAPA (2009), que recomenda esta área para 20 animais adultos, com densidade de 2,4 m<sup>2</sup> animal<sup>-1</sup>. A cobertura foi feita com malha preta de sombreamento (70%), colocada em camada única sobre estrutura de madeira, sem fechamento lateral.

A composição do SRAE contou com dois ventiladores axiais da marca Ventiave<sup>®</sup>, modelo P3D-Plus, equipados com motor trifásico de 0,5 HP com diâmetro de 1,0 m, vazão de 240 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>, 965 RPM, e capacidade de produzir movimentação de ar de até 2,5 m s<sup>-1</sup>, instalados com espaçamento de 6 m entre equipamentos, a altura de 2,5 m do piso e inclinação, em relação à vertical, de 20°, direcionada para o piso (Figura 1).

O sistema de nebulização foi composto de cinco linhas (tubo de polietileno) com quatro bicos nebulizadores por linha, marca ASBRASIL, modelo HADAR 7110, com espaçamento de 1,5 m entre bicos e entre linhas e altura de 3,0 m do piso. Este sistema foi equipado com uma bomba centrífuga da marca Schneider<sup>®</sup>, modelo BC-92SK, motor trifásico de 0,75 CV, com um consumo de energia de 0,65 KW h<sup>-1</sup> e vazão de 240 L h<sup>-1</sup>.

O SRAE foi ligado a um painel de potência e acionado automaticamente pelo controlador, o que permitiu o funcionamento do sistema de forma intermitente, durante a permanência dos animais no curral de espera. Os ventiladores e a bomba centrífuga eram acionados quando a temperatura ambiente ultrapassasse 26,0°C e a umidade relativa do ar fosse inferior a 65%, respectivamente.

Para desativar o sistema foi utilizado histerese de 1 (uma) unidade, tanto para temperatura como para umidade, ou seja, o controlador desligou os ventiladores e a bomba centrífuga quando a temperatura ambiente atingiu uma unidade abaixo de 26,0°C (25°C) e umidade relativa uma unidade acima de 65% (66,%).

Para avaliar a eficiência do sistema de climatização foram registrados os dados de temperatura do ar em uma malha regular de 35 pontos, distribuídos uniformemente ao longo da sala de pré-ordenha com espaçamento de 1 m entre cada ponto (Figura 2). As medidas foram realizadas a 1,5 m do piso, antes da climatização (0 min) e durante o período de permanência dos animais no curral de espera (20, 30 e 40 min) no turno da tarde. O equipamento utilizado para o registro de dados foi o termoanemômetro portátil da marca AZ Instrument, Modelo 8908 com faixa de registro de temperatura de -15 a 50°C.

As temperaturas internas do curral de espera foram analisadas pela estatística descritiva, calculando-se a média, a mediana, o coeficiente de variação, o coeficiente de assimetria e o coeficiente de curtose. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Foi verificado se a média e a covariância dos valores não apresentaram tendência, ou seja, se existe estacionaridade. O motivo desta análise se deve ao fato de que os dados devem satisfazer a condição de estacionaridade; no entanto não ocorreu essa condição, sendo necessária a filtragem da tendência dos dados e para isso utilizou-se o método de regressão polinomial do programa SURFER<sup>(demo)</sup>.

A dependência espacial foi verificada por meio de ajustes de semivariogramas (VIEIRA, 2000), com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(xi) - Z(xi + h)]^2 \quad (1)$$

em que,  $N(h)$  é o número de pares experimentais de observações  $Z(xi)$  e  $Z(xi + h)$  separados por uma distância  $h$ . O semivariograma é representado pelo gráfico  $\gamma(h)$  versus  $h$ . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\gamma(h)$  são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; patamar,  $C_0+C_1$ ; e o alcance,  $a$ ).

Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm efeito pepita  $< 25\%$  do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca  $> 75\%$ .

Os modelos de semivariogramas considerados foram o esférico, o exponencial, o linear e o gaussiano, sendo ajustados por meio do programa GS<sup>+</sup> e, posteriormente, utilizados no desenvolvimento de mapas de isolinhas (krigagem). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada através do programa GEO-EAS, em que se observou a média próxima a “zero” e o desvio padrão próximo a “um”.

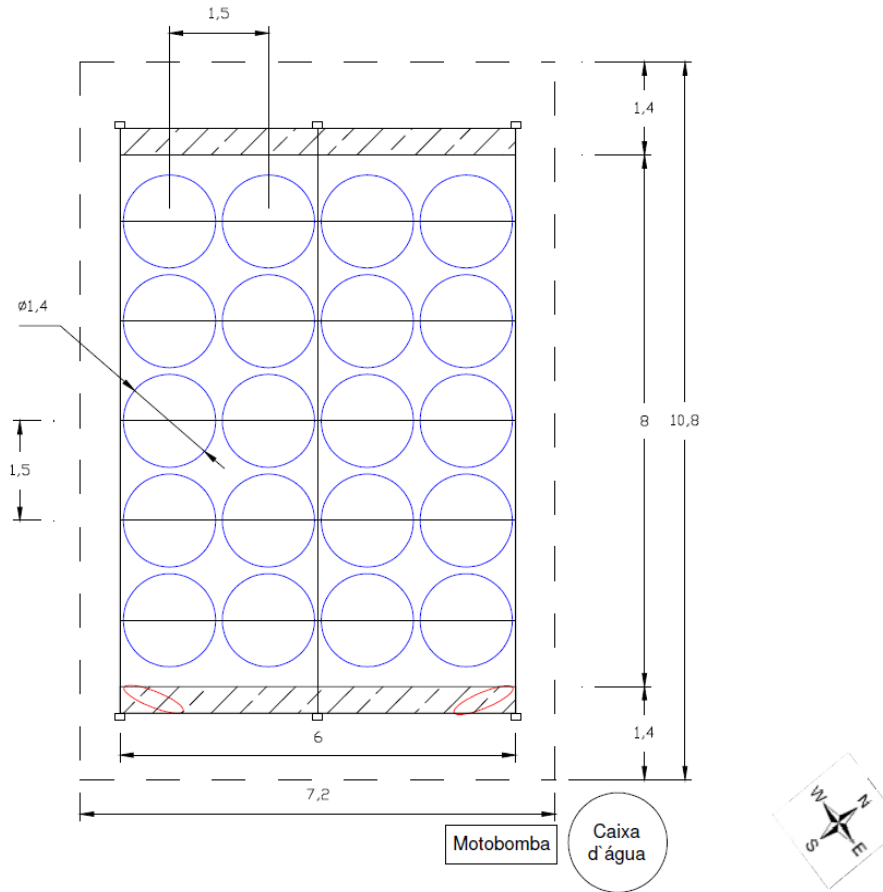


Figura 1 - Planta baixa do curral de espera e localização dos ventiladores e das linhas de nebulização.

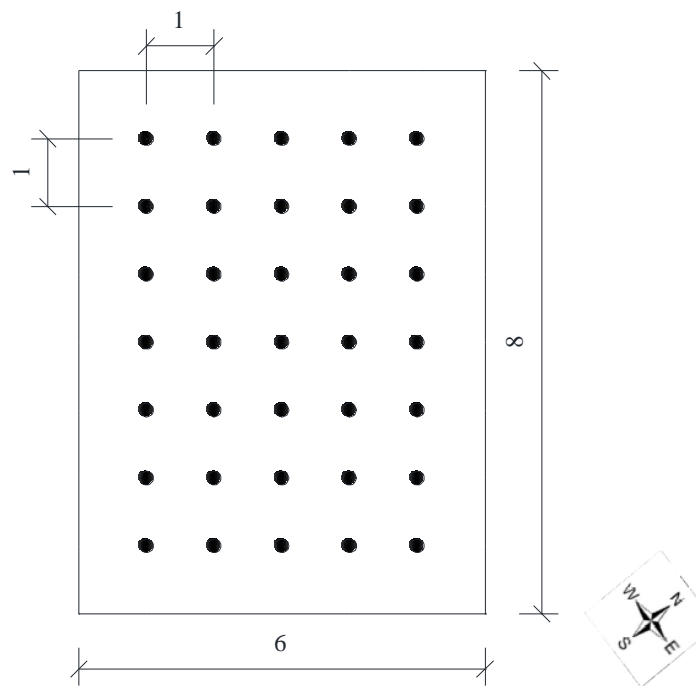


Figura 2 – Malha regular dos pontos de registro de temperatura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta dos valores das médias e medianas, coeficientes de assimetria e curtose e o uso do teste Kolmogorov- Smirnov, evidencia a normalidade dos dados analisados (Tabela 1). Segundo Little & Hills (1978), quando o valor da média, da mediana e da moda são semelhantes, os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal. Isso pode ser um indicativo de que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição (CAMBARDELLA et al., 1994). Resultados semelhantes foram apresentados por Faria et al. (2008) que obtiveram normalidade para o atributo temperatura em *free-stall* climatizado para bovinos leiteiros.

Tabela 1 - Análise estatística descritiva da temperatura do ar nos tempos de climatização estudados.

Estatística	Climatização			
	0 min	20 min	30 min	40 min
Média	30,54	26,31	26,21	25,09
Mediana	30,48	25,98	26,30	25,10
Mínimo	29,95	25,18	24,83	24,30
Máximo	31,30	28,45	27,15	26,18
Assimetria	0,51	1,17	-0,51	0,58
Curtose	-0,52	0,15	-0,20	0,01
C.V (%)	1,12	3,60	2,16	1,75
Desv. Pad.	0,34	0,95	0,57	0,44
KS	*	*	*	*

Coefficiente de Variação (%), KS = teste Kolmogorov-Smirnov, (\*) Distribuição normal com nível de 1% de significância

Segundo Isaaks & Srivastava (1989) mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência do efeito proporcional em que a média e a variância dos dados não sejam constantes na área de estudo. Este efeito não ocorreu, visto que os semivariogramas apresentaram patamares bem definidos (Figura 3).

Os semivariogramas (Figura 3) indicaram que o valor limite da distância no qual não haveria mais dependência espacial para a variável temperatura foi de 3,75; 2,63; 2,01 e 2,26 m para os tratamentos 0, 20, 30 e 40 min, respectivamente.

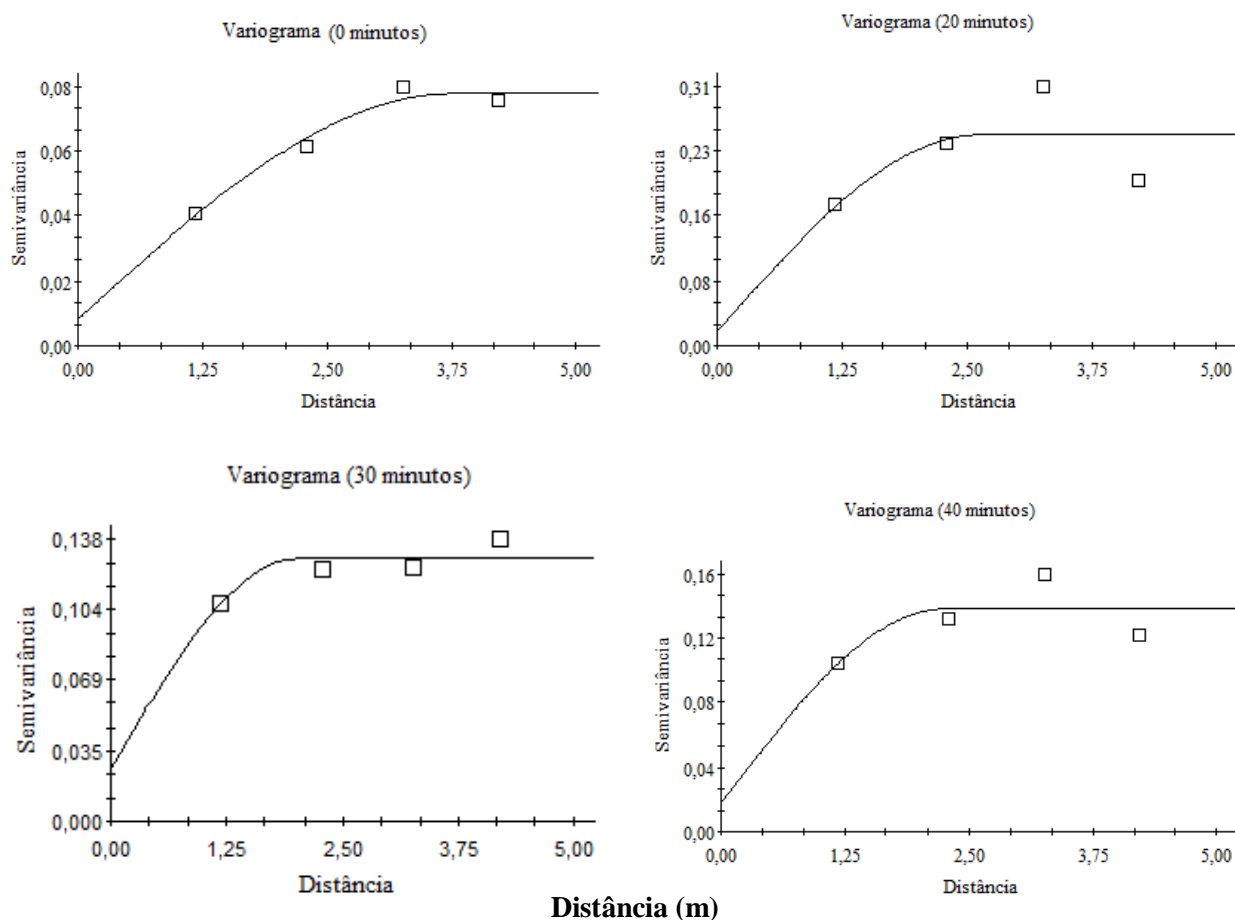


Figura 3 – Semivariogramas experimentais da variável temperatura nos diferentes tempos de exposição ao SRAE.

Os valores das médias de temperatura do ar mostraram-se acima do ideal para vacas em lactação, para 0, 20 e 30 min de exposição ao SRAE (Tabela 1), os quais, segundo Perissinotto & Moura (2007) deveriam estar entre 4 °C e 26 °C. Entretanto, a exposição do ambiente a 40 min de climatização promoveu redução da temperatura média de 30,54 °C para 25,2 °C, enquadrando-se dentro da faixa ideal para vacas em lactação. Almeida et al. (2010) verificaram redução da temperatura média em curral de espera de 29,2 °C para 24,3 °C, após 30 min de climatização, corroborando com a redução verificada no presente estudo.

Valores elevados de coeficiente de variação (CV) podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade. Ao serem considerados os critérios de classificação de Warrick & Nielsen (1980), de baixa variabilidade para  $CV < 12\%$ , média variabilidade para  $12\% < CV < 62\%$  e alta variabilidade para  $CV > 62\%$ , a

variável temperatura apresentou baixa variabilidade nas diferentes condições de climatização (0, 20, 30 e 40 min). Esses resultados estão de acordo com Faria et al. (2008) que obtiveram baixa variabilidade para dados de temperatura em *free-stall* climatizado.

A baixa variabilidade da temperatura quando não houve climatização (0 min) (CV de 1,12%) deve-se ao fato de que a distribuição da temperatura na sala de pré-ordenação foi homogênea, por estar sujeita apenas a climatização natural. Já a baixa variabilidade para 20, 30 e 40 min de exposição ao SRAE (Tabela 1) ocorreu porque o sistema conseguiu estabilizar a temperatura, mostrando-se eficiente no acondicionamento térmico do ambiente estudado, isto também pode ser evidenciado na Figura 4A.

Os resultados da análise geoestatística mostraram que a variável temperatura apresentou forte dependência espacial nos diferentes tempos de climatização (Tabela 2), apresentando a razão do efeito pepita em relação ao patamar ( $C_0/(C_0+C_1)$ ) de 11; 7; 20 e 13% para 0, 20, 30 e 40 min, respectivamente. Faria et al. (2008) encontraram valores de 12% e 1% para relação  $C_0/(C_0+C_1)$  em galpão sem e com climatização respectivamente. A análise dos semivariogramas para o atributo climático temperatura não indicou nenhuma direção preferencial, ou seja, como afirma Vieira (2000), nesse caso, os dados não possuem anisotropia, a variabilidade espacial dos dados ocorre da mesma maneira em todas as direções. Miles et al. (2008), estudando a variabilidade temporal e a variabilidade espacial de compostos de nitrogênio e atributos climáticos de um galpão de frango de corte, encontraram dependência espacial para os atributos climáticos.

Tabela 2 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as médias de temperatura (°C).

Climatização	Modelo	Parâmetros dos semivariogramas				Validação Cruzada		$r^2$
		Efeito pepita	Patamar	Alcance (m)	$C_0/(C_0+C_1)$ (%)	Média	Desvio Padrão	
0 min.	Esférico	0,01	0,08	3,75	11	-0,13	0,89	0,97
20 min.	Esférico	0,02	0,25	2,63	7	-0,35	0,69	0,44
30 min.	Esférico	0,03	0,13	2,01	20	-0,09	0,80	0,75
40 min.	Esférico	0,02	0,14	2,26	13	-0,08	0,88	0,54

$C_0$  = Efeito pepita,  $(C_0+C_1)$  = patamar,  $C_0/(C_0+C_1)$  = efeito pepita em relação ao patamar.  $C_0 / C_0+C \leq 25\%$  = forte dependência espacial;  $25\% < C_0 / C_0+C \leq 75\%$  = moderada dependência espacial;  $75\% < C_0 / C_0+C < 100\%$  = fraca dependência espacial;  $C_0 / C_0+C = 100\%$  = variável independente espacialmente (efeito pepita puro)

Todos os semivariogramas para os diferentes tempos de exposição ao SRAE ajustaram-se ao modelo esférico (Tabela 2). Estes resultados estão de acordo com Faria et al. (2008), que estudando temperatura em *free-stall* com ventilação forçada associada a sistema de nebulização, obtiveram semivariograma melhor ajustado ao modelo esférico. Estes modelos são considerados transitivos (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989), pois possuem patamar, ou seja, a partir de um determinado valor da distância entre amostras, não existe mais dependência espacial, sendo que resultados semelhantes foram observados por Miles et al. (2008).

O efeito pepita reflete a variabilidade não explicada em função da distância da amostragem utilizada, como variações locais, erros de análise, erros de amostragem e outros. Como é impossível quantificar a contribuição individual desses erros, o efeito pepita pode ser expresso como porcentagem do patamar, facilitando assim, a comparação do grau de dependência espacial da variável em estudo (Trangmar et al., 1985).

Portanto, a relação  $C_0/(C_0+C_1)$  aponta que a variável temperatura apresentou forte grau de dependência espacial em todas as condições de climatização (Tabela 2). A variável temperatura para 0 min apresentou maior alcance de dependência espacial que nos demais tempos de exposição ao SRAE (20, 30 e 40 min). No entanto, para 30 min de climatização, o alcance foi inferior àqueles obtidos em 20 e 40 min, com aumento da variabilidade espacial, o que indica menor continuidade na distribuição espacial da temperatura do ar para 30 min em relação aos demais tempos de climatização (Tabela 2).

Faria et al. (2008), trabalhando com galpão não-climatizado (ambiente 1) e climatizado (ambiente 2), obtiveram os valores do alcance inferiores dos atributos microclimáticos para o ambiente 2 em relação ao ambiente 1, indicando que a nebulização no galpão aumentou a variabilidade espacial dos atributos microclimáticos.

Para compreender a variação da temperatura do ar no interior da instalação, utilizaram-se os dados registrados a partir dos pontos pré-estabelecidos para composição da malha (Figura 2), após análise da geoestística para determinação dos parâmetros do semivariograma feita no programa  $GS^+$  e posteriormente a validação cruzada feita no GEO-EAS.

A Figura 4 ilustra a espacialização da temperatura registrada na instalação em todos os tempos de exposição ao SRAE. Observa-se que a temperatura variou de 30,2 a 31,3 °C, amplitude de 1,1 °C (Figura 4A); 25,4 a 28,4 °C, amplitude de 3 °C (Figura

4B); 25,2 a 27,1 °C, amplitude de 1,9 °C (Figura 4C) e 24,3 a 26,2 °C, amplitude de 1,9 °C (Figura 4D) para 0, 20, 30 e 40 min, respectivamente.

Antes da climatização a temperatura se manteve em toda área da sala de pré-ordenha acima da zona de conforto térmico, com temperatura do ar superior a 26 °C, considerada por Perissinotto & Moura (2007), como adequada para o conforto térmico de vacas em lactação. Apesar dos tratamentos 20 e 30 min apresentarem médias de temperatura superiores a 26 °C (Tabela 1), em algumas áreas da sala de pré-ordenha, a temperatura atingiu valores adequados para o conforto de vacas em lactação, ficando abaixo de 26 °C. Porém, só após 40 min de exposição ao sistema foi que a temperatura média ambiente ficou abaixo de 26 °C (25,09 °C), o que favoreceu o conforto térmico para os animais na instalação (Tabela 1).

Verifica-se na Figura 4D boa homogeneização da temperatura em toda área da sala de pré-ordenha, mantendo a temperatura abaixo da crítica superior (25,09 °C). O tempo de climatização de 40 min inibiu influências do ambiente externo a instalação, o que garantiu melhor acondicionamento térmico nesta condição. Almeida et al. (2010) estudando climatização em curral de espera, obteve temperatura média ambiente de 24,3 °C após 30 min de climatização, corroborando os resultados apresentados neste estudo.



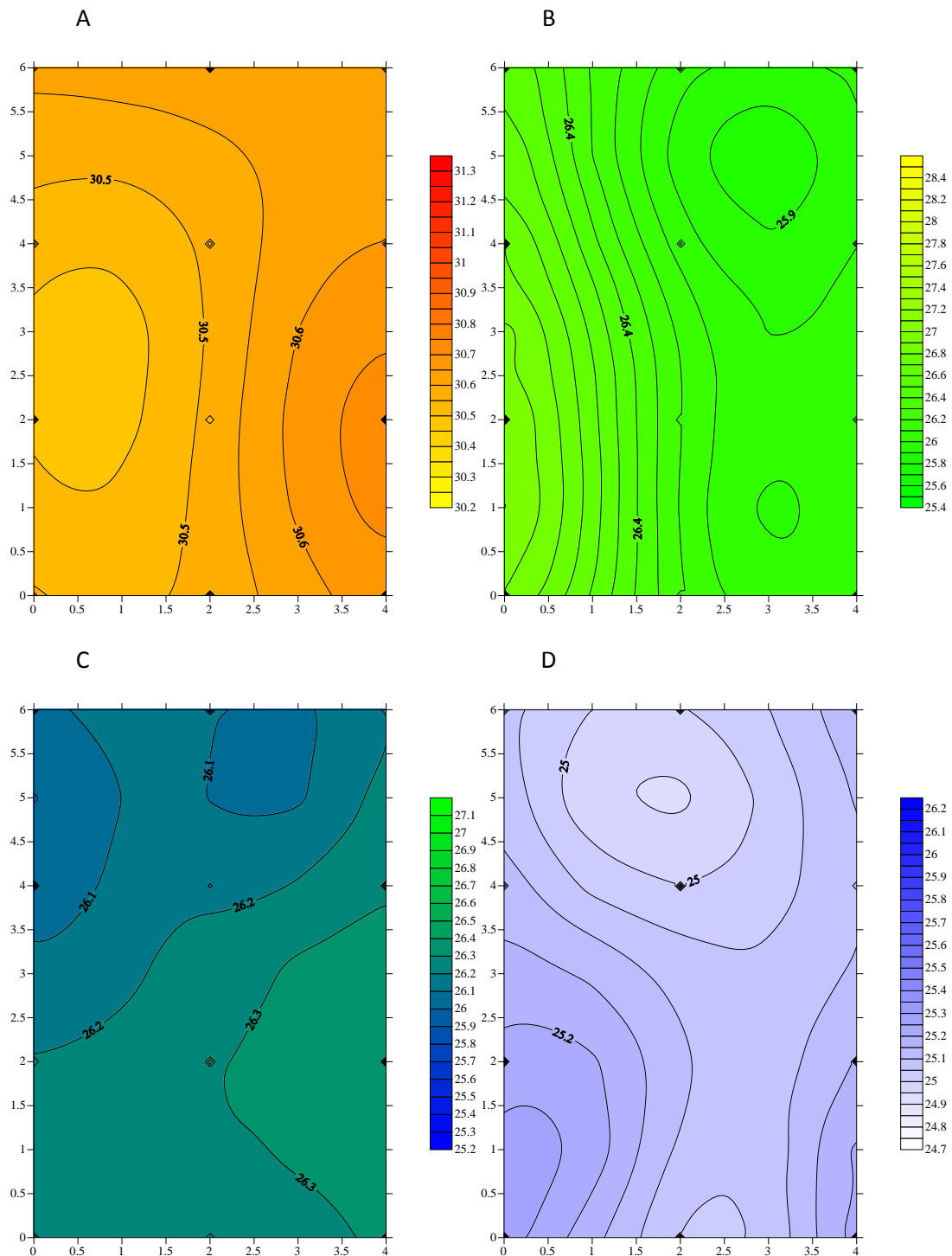


Figura 4 - Mapas de krigagem para variável temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) para 0 min (A), 20 min (B), 30 min (C) e 40 min (D) de climatização na pré-ordenha equipada com SRAE automatizado.

## CONCLUSÕES

1. O uso da geoestatística possibilitou definir áreas com diferentes variabilidades espaciais para a variável temperatura, identificando áreas específicas na sala de pré-ordenha onde a temperatura estava acima do recomendado para o conforto térmico animal.

2. A exposição do ambiente a climatização por 40 min, possibilitou melhor acondicionamento térmico ambiental, o que garantiu condição de conforto aos animais na pré-ordenha.

3. A climatização por 0, 20 e 30 min de exposição ao SRAE apresentou valores de temperatura que permaneceram fora da condição de conforto térmico, portanto, o acondicionamento da sala de pré-ordenha não apresentou pleno conforto aos animais.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; GUISELINI, C.; ALMEIDA, G. A. P.; MORRILL, W. B. B. Investimento em climatização na pré-ordenha de vacas girolando e seus efeitos na produção de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1337-1344, 2010.

BARROS, A. H. C.; BRAGA, C. C.; SILVA, E. D. V.; BRITO, J. I. B. **Processamento dos dados de precipitação e temperatura de Pernambuco**. Campina Grande: UFPB, 1998. 1 CD Rom.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 2, p. 1501-1511. 1994.

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, 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/GadoLeiteiroZonaBragantina/paginas/instalacoes.htm>. 27 Out. 2009.

FARIA, F. F.; MOURA, D. J.; SOUZA, Z. M.; MATARAZZO, S. V. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2498-2505, dez. 2008.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.

LITTLE, T. M.; HILLS, F. J. **Agricultural experimentation**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 350 p.

MIRAGLIOTTA, M. Y.; NÄÄS, I. A.; MANZIONE, R. L.; NASCIMENTO, F. F. Spatial analysis of stress conditions inside broiler house under tunnel ventilation. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, p. 426-432, 2006.

MATARAZZO, S. V.; SILVA, I. J. O.; PERISSINOTO, M.; FERNANDES, S. A. A.; ARCARO JUNIOR, I.; ARCARO, J. R. P. Eficiência de sistemas de climatização na área de descanso em instalação do tipo freestall e sua influência nas respostas produtivas e fisiológicas de vacas em lactação. **Boletim de Indústria Animal**, v. 64, p. 221-232, 2007.

MILES, D. M.; ROWE, D. E.; OWENS, P. R.; USDA, ARS. Winter broiler litter gases and nitrogen compounds: temporal and spatial trends. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 42, n. 14, p. 3351-3363, 2008.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; MATARAZZO, S. V.; SILVA, I. J. O.; LIMA, K. A. O. Efeito da utilização de sistemas de climatização nos parâmetros fisiológicos do gado leiteiro. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 663-671, 2006.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v. 1, n. 2, p. 117-126, 2007.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 38, p. 45-94, 1985.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicada**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2006. 583 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-53.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. p. 319-344.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados indicaram que o sistema controlador, além de apresentar custo inferior quando comparado a média de outros modelos no mercado, pode ser utilizado com segurança no monitoramento e controle das variáveis ambientais, temperatura e umidade relativa ar, garantindo o grau de automação necessário para o acionamento intermitente dos atuadores na climatização de bovinos leiteiros.

Outro aspecto importante foi que o investimento em climatização automatizada no curral de espera para vacas de leite em lactação mostrou-se satisfatório e lucrativo, com tempo de retorno do capital investido de 40 dias. Onde a exposição dos animais a climatização por 40 min, possibilitou melhor acondicionamento térmico ambiental tendo como resposta, menores valores para as variáveis fisiológicas: temperatura retal, frequência respiratória e temperatura do pelame, promovendo aumento de 3,66% na produção de leite.

O uso da geostatística possibilitou definir áreas com diferentes variabilidades espaciais para a variável temperatura, identificando áreas específicas na pré-ordenha onde a temperatura estava acima do recomendado para o conforto térmico animal. Porém, a utilização dessa ferramenta indicou que a exposição do ambiente a climatização por 40 min, possibilitou melhor acondicionamento térmico ambiental, o que garantiu condição de conforto aos animais na pré-ordenha.

#### 4. REFERÊNCIAS

AGUIAR, I. S.; BACCARI JÚNIOR, F.; GOTTSCHALK, F. A.; TORNERO, M. T. T.; WECHSLER, F. S. Produção de leite de vacas holandesas em função da temperatura do ar e do índice de temperatura e umidade. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33., 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBZ, 1996. p. 617-619.

ALMEIDA, G. L. P. **Climatização na pré-ordenha de vacas da raça girolando e seus efeitos na produção e qualidade do leite e nocomportamento animal.** 2010. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

ARCARO JÚNIOR, I.; ARCARO, J. R. P.; POZZI, C. R.; FAVA, C. D.; FAGUNDES, H.; MATARAZZO, S. V.; OLIVEIRA, J. E. Respostas fisiológicas de vacas em lactação à ventilação e aspersão na sala de espera. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 639-643, 2005.

ARCARO, J. R. P. **Efeitos do sistema de resfriamento adiabático evaporativo em free-stall sobre a produção, fisiologia, comportamento e ocorrência de mastite em vacas em lactação.** 2005. 123 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga.

ARCARO, J. R. P.; ARCARO JUNIOR, I.; POZZI, C. R.; MATARAZZO, S. V.; FAGUNDES, H.; ZAFALON, L. F.; COSTA, E. O. Climatização em instalações do tipo free-stall: comportamento animal e ocorrência de mastite em vacas em lactação. **Revista Napgama**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 3-9, 2006.

ARMSTRONG, D. V. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 77, n. 7, p. 2044-2050, 1994.

AZEVEDO, M.; PIRES, M. F. A.; SATURNINO, H. M.; LANA, A. M. Q.; SAMPAIO, I. B. M.; MONTEIRO, J. B. N.; MORATO, L. E. Estimativas de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebú, em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2000-2008, 2005.

BACCARI JUNIOR, F. Adaptação de sistemas de manejo na produção de leite em climas quentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 24-67.

BACCARI JUNIOR, F.; CAMPOS NETO, O.; ROCHA, G. P. Variação fisiológica da temperatura retal das 8 às 18 horas em bovinos holandeses. Correlação com a temperatura ambiente e hora do dia. In: JORNADA CIENTÍFICA DA ASSOCIAÇÃO DOS DOCENTES DO CAMPUS DE BOTUCATU, 8., 1979, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FMVZ. 1979. p. 149-153.

BACCARI JUNIOR, F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes.** Londrina: UEL Editora, 2001. 141 p.

BIANCA, W. Reviews of the progress of dairy science. Section: physiology of cattle in hot environment. **Journal of Dairy Research**, Cambridge, v. 32, p. 245-92, 1965.

BRANDÃO, A. S. P. Aspectos econômicos e institucionais da produção de leite no Brasil. In: VILELA, D.; BRESSAN, M.; CUNHA, A. S. **Cadeia de lácteos no Brasil: restrições ao seu desenvolvimento**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de leite, 2001. p. 39-72.

BRAY, D. R.; BUCKLIN, R. A.; MONTOYA, R.; GIESY, R. Means to reduce environmental stress on dairy cows in hot, humid climates. In: INTERNATIONAL DAIRY HOUSING CONFERENCE, 1994, Orlando. **Dairy systems for the 21st century...** Orlando: ASAE, 1994. p. 589-597.

BROUK, M. J.; SMITH, J. F.; HARNER III, J. P. Effectiveness of fan and feedline sprinklers in cooling dairy cattle housed in 2 or 4 row freestall buildings. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 6., 2001, Louisville. **Proceedings...** Louisville: ASAE, 2001. p. 15-21.

BUCKLIN, R. A.; BRAY, D. R. The american experience in dairy management warm and hot climates. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 156-174.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 2, p. 1501-1511, 1994.

CAPPA, V.; VAZHAPILLY, P.; MAIANTI, M. G. Effect of environment variations (microclimate) on the performance of dairy cows. **Scienza e Tecnica Latiero-Casearia**, Sardegna, v. 40, p. 98-115, 1989.

DAVIS, M. S. Effects of water application to feedlot mound during the summer (Compact disc). In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 6., 2001, Louisville. **Proceedings...** Louisville: ASAE, 2001.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/GadoLeiteiroZonaBragantina/paginas/instalacoes.htm>. 27 Out. 2009.

FARIA, F. F.; MOURA, D. J.; SOUZA, Z. M.; MATARAZZO, S. V. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2498-2505, dez. 2008.

FARIA, V. P. Avanços e desafios em P&D no segmento da produção da cadeia agroalimentar do leite no Brasil. In: VILELA, D.; BRESSAN, M.; CUNHA, A. S. **Cadeia de lácteos no Brasil: restrições ao seu desenvolvimento**. Juiz de fora: Embrapa Gado de leite, 2001. p. 165-213.

FIALHO, F. B. Modernização no controle da produção de suínos: zootecnia de precisão. In: SILVA, I. J. O (Ed.). **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. cap. 3, p. 61-80.

FRAZZI, E.; CALAMARI, F.; CALEGARI, M. G.; MAIANTI; CAPPA, V. The aeration, with and without misting: effects on heat stress in dairy cows. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM LIVESTOCK ENVIRONMENT, 5., 1997, Minnesota. **Proceedings...** Minnesota: ASAE, 1997. p. 907-914.

FRAZZI, E.; CALAMARI, L.; CALEGARI, F. Behavior of dairy cows in response to different barn cooling systems. In: INTERNATIONAL DAIRY HOUSING CONFERENCE, 4., 1998, Saint Louis. **Proceedings...** Saint Louis: ASAE, 1998. p. 387-394.

FROST, A. R.; SCHOFIELD, C. P.; BEAULAH, S. A.; MOTTRAM, T. T.; LINES, J. A.; WATHES, C. M. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam n. 17 p. 139-159, 1997.

FUQUAY, J. W. Heat stress as it affects animal production. **Livestock Environment**, 5, Iowa, v. 2, p. 1133-1137. 1997.

GUIA ALIMENTAR PARA A POPULAÇÃO BRASILEIRA. 2004. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica, Coordenação-Geral da Política de Alimentação e Nutrição. Brasília – DF, 2004. 120 p.

HAHN, G. L.; PARKHURST, A. M.; GAUGHAN, J. B. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. **Transactions of American Society of Agricultural Engineering**, Michigan, v. 40, p. 97-121. 1997.

HANSEN, P. J. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Animal Reproduction Science**, Amsterdam, v. 83-84, p. 349-369, 2004.

HEAD, H. H. The strategic use of the physiological potential of the dairy cow. In: SIMPÓSIO LEITE NOS TRÓPICOS: NOVAS ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO. 1989, Botucatu. **Anais...** Botucatu, 1989. p. 38-89.

HOLROYD, P. “Tendências do mercado de carne no novo milênio (Tendency of meat market for the new milenium).” **Proceedings APINCO**. Campinas, May 2000. p. 93-109.

HUBER, J. T. Relação entre nutrição e “stress” térmico em gado leiteiro. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL, 6., 1989, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1990. p. 63-65.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2006. Produção pecuária. Brasília: MPOG, 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/default.shtm>>. Acesso em: 17 de Jul. 2007.

IGONO, M. O.; JOHNSON, H. D.; STEEVENS, B. J.; SHANKLIN, M. D. Physiological, productive and economic benefits of shade, and fan systems versus shade for Holstein cows during summer heat. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 70, p. 1060-1079, 1987.

KADZERE, C. T.; MURPHY, M. R.; SILANIKOVE, N. Heat stress in lactating dairy cows: a review. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 59-91, 2002.

LIN, J. C., MOSS, B. R.; KOON, J. L.; FLOOD, C. A. Comparison of various fan, sprinkler, and mist systems in reducing heat stress in dairy cows. **Applied Engineering in Agriculture**, Louisville, v. 14, n. 2, p. 177-182, 1998.

LOPES, M. A. **Informática aplicada à bovinocultura**. Jaboticabal: FUNEP, 1997. 82 p.

MACHADO, J. G. C. F. A adoção da identificação eletrônica de animais na gestão do empreendimento rural: um estudo multicaso na pecuária de corte. 2002. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

MACHADO, P. F. Efeitos da alta temperatura sobre a produção, reprodução e sanidade de bovinos leiteiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 179–201.

MAIA, A. S. C. **Variação genética e ambiental das características morfológicas e das propriedades radiativas efetivas do pelame de bovinos da raça holandesa**. 2002. 77 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

MARQUES, D. **Calor**: conhecimentos e cuidados para minimizar seus efeitos sobre os frangos. Amparo: CASP, 1992. 11 p.

MARTELLO, L. S. **Diferentes recursos de climatização e sua influência na produção de leite, na termorregulação dos animais e no investimento das instalações**. 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produção Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga.

MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; SILVA, S. L.; TITTO, E. A. L.; PEREIRA, A. M. F. Avaliação do consumo e produção de leite de múltiparas e primíparas submetidas a diferentes ambientes. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 12., 2002, Villa Real. **Anais...** Villa Real: APEZ, 2002. p. 470-473.

MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JUNIOR, H.; SILVA, S. L.; TITTO, E. A. I. Respostas fisiológicas e reprodutivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 181-191, 2004b.

MATARAZZO, S. V. **Eficiência do sistema de resfriamento adiabático evaporativo em confinamento do tipo freestall para vacas em lactação**. 2004. 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.



MATHERON, G. Principles of Geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v. 58, p. 1246-1266, 1963.

MILES, D. M.; ROWE, D. E.; OWENS, P. R.; USDA, ARS. Winter broiler litter gases and nitrogen compounds: temporal and spatial trends. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 42, n. 14, p. 3351-3363, 2008.

MORGAN, W. E. **Heat reflective root coatings**. Chicago: ASAE, 1990. 12 p.

NASH, M. H. et al. Horizontal and vertical kriging of soil properties along a transect in southern New Mexico. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1086-1090, 1988.

NÄÄS, I. A. Biometeorologia e construções rurais em ambiente tropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 2., 1998, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade de Biometeorologia, 1998. p. 63-73.

NÄÄS, I. A. **Princípios de Conforto Térmico na Produção Animal**. São Paulo: Editora Ícone, 1989. 183 p.

NÄÄS, I. A., 2002, "Applications of mechatronics to animal productions", Clube de Bologna, ASAE International Meeting, Chicago, 1-15.

NÄÄS, I. A.; RODRIGUES, E. H. V. Qualidade do ambiente para a produção de suínos na gestação e maternidade. In: SILVA, I. J. O. (Ed). **Ambiência e qualidade na produção de suínos**, 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 112-130.

NÄÄS, I. A.; FIALHO, F. B. Zootecnia de precisão: aplicação na produção de leite. In: Silva, I. J. O. **Ambiência na produção de leite em clima quente**. Piracicaba: Fealq, 1998. 201 p.

PAGLIS, C. M. **Informática na Agricultura**. Lavras: UFLA, 2002.

PERISSINOTTO, M. **Avaliação da eficiência produtiva e energética de sistemas de climatização em galpões tipo freestall para confinamento de gado leiteiro**. 2003. 122 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PERISSINOTO, M.; MOURA, D. J.; CRUZ, V. F. Avaliação da produção de leite em bovinos utilizando diferentes sistemas de climatização. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 30, n. 1, p. 135-142, 2007.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v. 1, n. 2, p. 117-126, 2007.

PERISSINOTTO, M. **Sistema inteligente aplicado ao acionamento do sistema de climatização em instalações para bovinos leiteiros**. 2007. 168 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PINHEIRO, M. G.; NOGUEIRA, J. R.; LIMA, M. L. P.; LEME, P. R.; MACARI, M.; NÄAS, I. A.; LALONI, L. A.; TITTO, E. A. L.; PEREIRA, A. F. Efeito do ambiente pré-ordenha (sala de espera) sobre a temperatura da pele, a temperatura retal e a produção de leite de bovinos da raça jersey. **Revista Portuguesa de Zootecnia**, Vila Real, v. 12, n. 2, p. 37-43, 2005.

PINHEIRO, M. G.; ROMA JR., L. C.; LIMA, M. L. P.; NOGUEIRA, J. R.; MACARI, M.; SANTOS, A. L.; LEME, P. R.; NÄAS, I. A.; LIMA, N. C.; LALONI, L. A.; SIMILI, F. F. Efeito do ambiente da sala de espera sobre a temperatura da pele de vacas da raça Jersey. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000. p. 9.

PONTES, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Uma proposta alternativa para a análise de experimentos de campo utilizando a geoestatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 135-141, jan./fev. 2004.

ROENFELDT, S. You can't afford to ignore heat stress. **Dairy Manage**, Manage, v. 35, n. 5, p. 6-12, 1998.

ROMA JÚNIOR, L. C.; SILVA, I. J. O.; PINHEIRO, M. G. Avaliação física do sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE) em instalações do tipo freestall para bovinos de leite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.

ROSENING, W. 1978. "Automatic data recording for dairy herd management." Proceedings of the International Milking Machine Symposium, Louisville, 1978.

ROSENING, W. 1976. "Cow identification for individual feeding or outside the milking parlor." Proceedings of the Symposium on Animal Identification Systems and Applications.

SILVA, I. J. O. Climatização das instalações para bovino leiteiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/FEALQ, 1998. p. 114-145.

SILVA, I. J. O. Vacas produzem mais e melhor em ambientes adequados. **Revista Balde Branco**, São Paulo, v. 35, n. 413, p. 20-27, 1999.

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

SILVA, R. G.; SCALA, N. L.; POYAY, P. L. B. Transmissão de radiação ultravioleta através do pelame e da epiderme de bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 6. p. 1939-1947, 2001.

SOUZA, S. R. L. **Análise do ambiente físico de vacas leiteiras alojadas em sistema de freestall**. 2003. 70 f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TINÔCO, I. F. F. Ambiência na produção animal em climas tropicais. In: SIMPÓSIO DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA, 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFCG/DEAG, 2004. 1 CD-ROM.

TITTO, E. A. L. Clima: Influência na produção de leite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 10-23.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-53.

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

## ANEXO

### Programação do controlador

Para iniciar a programação ou realizar qualquer comando do equipamento, deve-se seguir as seguintes instruções:

Inicialmente tecle “1” (um) no hyper terminal, para que seja iniciada a transmissão de dados. Pode-se interromper a transmissão de dados teclando “0” (zero).

### Configurar valores de “preset” e “histerese” para o controle de temperatura e umidade:

No hyper terminal:

Digite C, então receberá a mensagem:

Digite o valor do ajuste de temperatura com 3 algarismos sem a vírgula ex.: (28,5°C) = 285.

Digitando 285, o equipamento entenderá 28,5°C. Para facilitar, após digitar qualquer número, este será ecoado via serial para que apareça no hyper terminal e, após digitar a unidade irá aparecer a vírgula, digitando em seguida o valor fracionário 0 ou 5. Se digitar na parte fracionária um número diferente do mostrado, internamente o equipamento irá converter para estes valores. Ex.:

280=28,0	285=28,5
281=28,0	286=28,5
282=28,0	287=28,5
283=28,0	288=28,5
284=28,0	289=28,5

Este resultado é em função da resolução de 8 bits do conversor analógico/digital:

$$T_{\max}/((n^{\circ}\text{ContagensConversor}) - 1) = 0,5$$

$$127,5^{\circ}\text{C}/(256 - 1) = 0,5$$

Na sequência irá aparecer a frase: Digite a histerese com 3 algarismos sem a vírgula. Ex.: (01,0) = 010.

Então digite o valor em °C para histerese. Se o preset for 28,0°C e a histerese for de 0,5°C então o relé irá ligar em 28,0°C e desligar abaixo de 28,0-0,5 ou seja, abaixo de 27,5=27,0°C, ficando uma janela de 0,5°C. Este será o ajuste do relé RL1 controlado pelo sensor de temperatura S01.

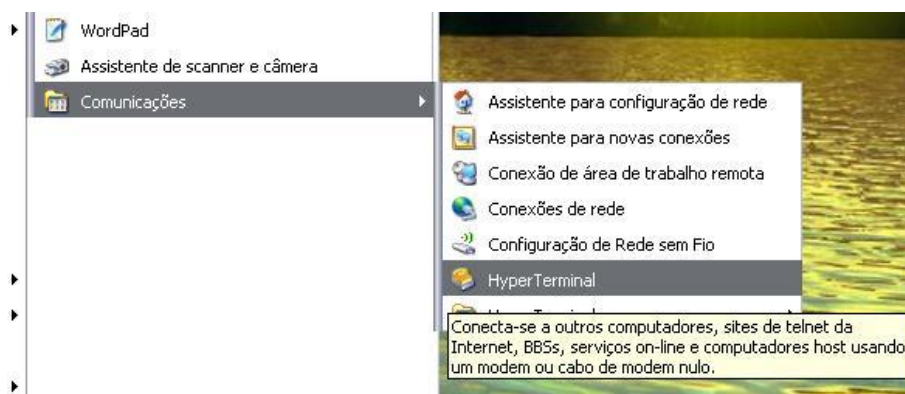
Na seqüência irá aparecer a frase: Digite o valor do ajuste de umidade com 3 algarismos sem a vírgula ex.: (51,5%UR) = 515. Semelhante ao ajuste de temperatura. Digite a histerese com 3 algarismos sem a virgula ex.: (01,0) = 010. Entre com o valor de histerese de umidade. Este será o ajuste do relé RL2 controlado pelo sensor de umidade S05.

### Ambiente de trabalho do programa:

A – configuração do Hyper Terminal

Obs.: basta configurar uma vez e, o windows irá criar uma conexão serial.

### Abra o programa hyper terminal:



### Digite o nome da conexão, escolha um ícone e clique em ok:



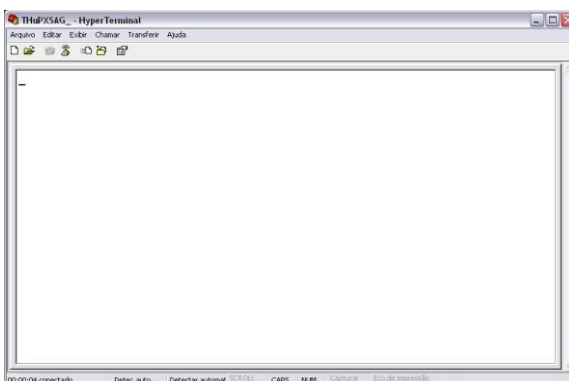
**Em conectar usando: escolha a porta COM conectada ao equipamento e clique em ok:**



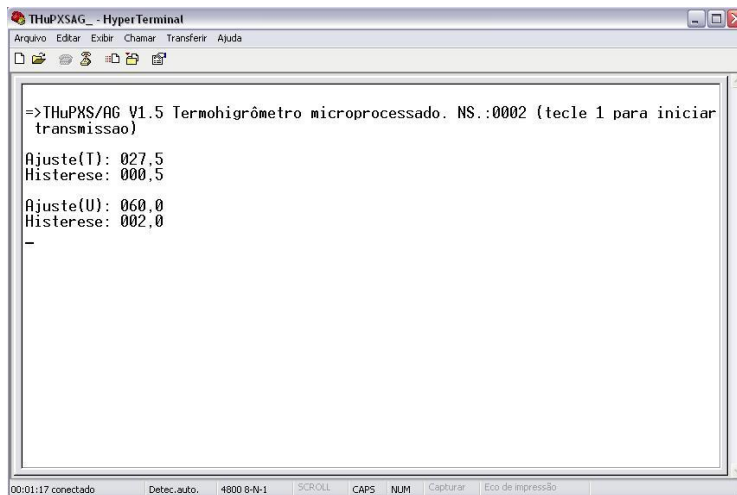
**Escolha as opções como segue abaixo e clique em ok:**



**A conexão está pronta:**



**Ao ligar o THuPXSAG, será enviado a seguinte mensagem:**



```

THuPXSAG_ - HyperTerminal
Arquivo  Editar  Exibir  Chamar  Transferir  Ajuda

=>THuPXS/AG V1.5 Termohigrômetro microprocessado. NS.:0002 (tecle 1 para iniciar
transmissao)

Ajuste(T): 027,5
Histerese: 000,5

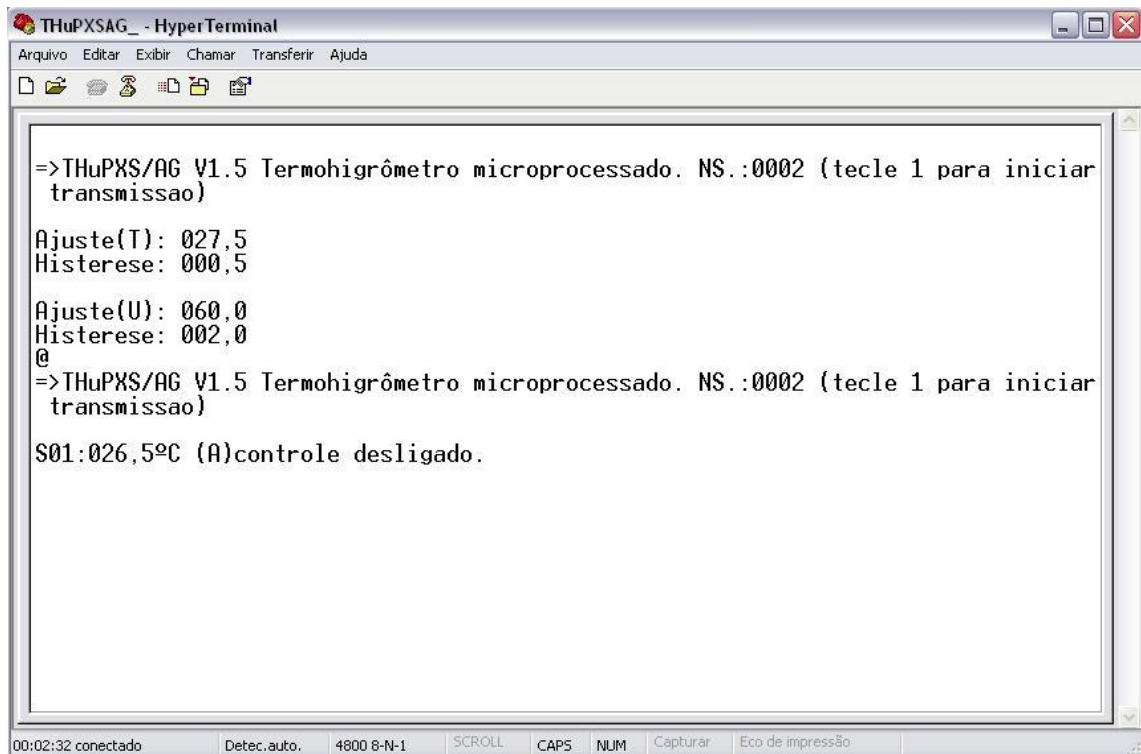
Ajuste(U): 060,0
Histerese: 002,0

_

00:01:17 conectado      Detec.auto.  4800 8-N-1  SCROLL  CAPS  NUM  Capturar  Eco de impressão

```

**Ao teclar “1”, o THuPXSAG iniciará a transmissão de dados:**



```

THuPXSAG_ - HyperTerminal
Arquivo  Editar  Exibir  Chamar  Transferir  Ajuda

=>THuPXS/AG V1.5 Termohigrômetro microprocessado. NS.:0002 (tecle 1 para iniciar
transmissao)

Ajuste(T): 027,5
Histerese: 000,5

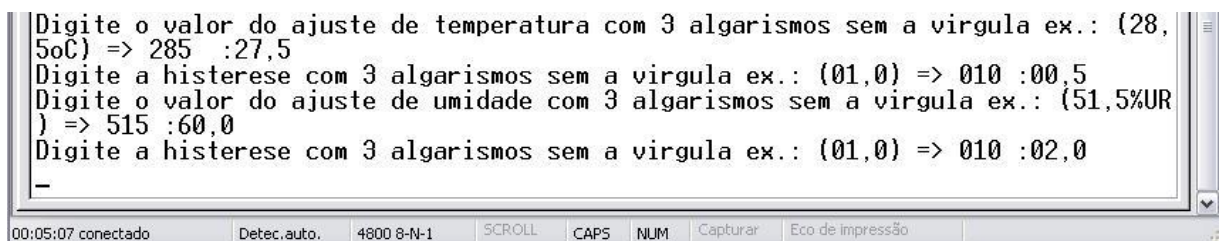
Ajuste(U): 060,0
Histerese: 002,0
@
=>THuPXS/AG V1.5 Termohigrômetro microprocessado. NS.:0002 (tecle 1 para iniciar
transmissao)

S01:026,5°C (A)controle desligado.

00:02:32 conectado      Detec.auto.  4800 8-N-1  SCROLL  CAPS  NUM  Capturar  Eco de impressão

```

**Veja abaixo um exemplo de configuração de preset e histerese de temperatura e umidade.**



```

Digite o valor do ajuste de temperatura com 3 algarismos sem a virgula ex.: (28,
5oC) => 285 :27,5
Digite a histerese com 3 algarismos sem a virgula ex.: (01,0) => 010 :00,5
Digite o valor do ajuste de umidade com 3 algarismos sem a virgula ex.: (51,5%UR
) => 515 :60,0
Digite a histerese com 3 algarismos sem a virgula ex.: (01,0) => 010 :02,0

_

00:05:07 conectado      Detec.auto.  4800 8-N-1  SCROLL  CAPS  NUM  Capturar  Eco de impressão

```

**Ao fechar, salve a conexão e ela aparecerá como mostrado abaixo:**

