Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Sistema inteligente aplicado ao acionamento do sistema de
climatização em instalações para bovinos leiteiros**

Maurício Perissinotto

**Tese apresentada para obtenção de título de Doutor
em Agronomia. Área de concentração: Física do
Ambiente Agrícola**

Piracicaba
2007

Mauricio Perissinotto

Engenheiro Agrônomo

**Sistema inteligente aplicado ao acionamento do sistema de
climatização em instalações para bovinos leiteiros**

Orientadora:

Prof^a. Dra. DANIELLA JORGE DE MOURA

**Tese apresentada para obtenção de título de
Doutor em Agronomia. Área de Concentração:
Física do Ambiente Agrícola**

Piracicaba

2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Perissinotto, Maurício

Sistema inteligente aplicado ao acionamento do sistema de climatização em instalações para bovinos leiteiros / Maurício Perissinotto. -- Piracicaba, 2007.
167 p. : il.

Tese (Doutorado) -- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Bioclimatologia animal 2. Bovinos leiteiros 3. Comportamento animal 4.
Conforto térmico 5. Fuzzy 6. Instalações para animais 7. Mineração de dados I.
Título

CDD 636.214

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

***Aos meus pais, Waldomiro e Regina,
exemplos de vida e luta, cujo amor e
dedicação elevam-me a cada instante.***

MINHA HOMENAGEM

***A minha esposa Renata pelo amor,
cumplicidade, apoio, carinho e incentivo.***

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me iluminou e me deu forças nos momentos em que mais precisei para vencer os obstáculos surgidos durante esse percurso.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pelas tantas oportunidades oferecidas.

À Universidade de Évora, por ter aberto suas portas para a realização do meu estágio de doutorado.

À Professora Dra. Daniella Jorge de Moura, pela orientação atenciosa, pela amizade, confiança, incentivo e entusiasmo na execução deste trabalho, responsável pelo meu crescimento pessoal e científico.

Ao Professor Vasco Fitas da Cruz, pela orientação durante o estágio de doutorado, a quem devo todo meu respeito, minha consideração e gratidão, pela confiança, pelos bons conselhos e pela amizade sincera.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Física do Ambiente Agrícola, pelos ensinamentos e oportunidade de realização do curso.

Aos professores Iran José Oliveira da Silva, Flávio Augusto Portela Santos e Paulo César Sentelhas, pelos ensinamentos, sugestões para a melhoria e engrandecimento deste trabalho.

Aos amigos Soraia, Sérgio e Murilo pelo apoio na instalação e execução do experimento.

Aos colegas da FEAGRI/UNICAMP, pela amizade e apoio direto e indireto na realização deste trabalho.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Física do Ambiente Agrícola, pelo convívio e amizade durante a realização do curso.

Aos meus irmãos Marcello, Márcio e Mariana e aos meus sobrinhos Marcello Júnior e Lorena, pela amizade, apoio e carinho.

Aos meus Avós Ézio e Clara pelo incentivo, e carinho.

Aos meus Tios (as) e primos (as), que tanto me incentivaram e me apoiaram durante a realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos para a realização do curso e do estágio de doutorado.

“O valor das coisas não está no tempo que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis”

(Fernando Pessoa)

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Perspectivas da produção de leite no Brasil	18
2.2 Características econômicas do leite	19
2.3 Bem-estar animal	23
2.4 Termoneutralidade	26
2.5 Índices de conforto térmico	30
2.5.1 Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	31
2.6 Efeitos do Estresse na Produção Leiteira	33
2.7 Fisiologia animal	34
2.7.1 Temperatura retal (TR)	35
2.7.2 Frequência respiratória (FR)	37
2.8 Controle do ambiente e resfriamento evaporativo	38
2.9 Controle do acionamento do sistema de resfriamento	40
2.10 Sistemas inteligentes como auxiliares na tomada de decisão	42
2.10.1 Mineração de dados	42
2.10.1.1 Processo de descoberta de conhecimento	45
2.10.1.1.1 Identificação do problema	46
2.10.1.1.2 Pré-processamento	46
2.10.1.1.3 Extração de padrões ou descoberta do conhecimento	46
2.10.1.1.4 Pós-processamento ou análise das relações descobertas	49
2.10.1.1.5 Utilização do conhecimento	50
2.10.1.1.6 Avaliação (mensuração) dos resultados	50
2.10.2 Lógica <i>Fuzzy</i>	51

2.10.2.1 Variável linguística	52
2.10.2.2 Passos para a elaboração de um sistema de lógica <i>fuzzy</i>	53
2.10.2.3 O modelo de inferência <i>fuzzy</i> de Mamdani	54
2.10.2.4 Aplicações	56
3 MATERIAL E MÉTODOS	58
3.1 Elaboração do conjunto de dados-alvo	58
3.1.1 Organização dos dados.....	63
3.2 Desenvolvimento do algoritmo	63
3.2.1 Mineração de dados	63
3.2.1.1 Definição do problema ou do objetivo do trabalho	64
3.2.1.2 Preparação de dados	65
3.2.1.3 Modelagem	67
3.2.1.4 Avaliação do processo de Mineração de Dados	73
3.2.1.5 Aplicação da base de conhecimento	73
3.3 Desenvolvimento dos cenários	74
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
4.1 Base de conhecimento	76
4.1.1 Parâmetros climáticos	76
4.1.2 Índice de temperatura e umidade (ITU)	80
4.1.3 Parâmetros fisiológicos	81
4.2 Mineração de Dados para a construção do algoritmo	84
4.2.1 Base de dados do rebanho total	85
4.2.1.1 Descrição dos dados utilizados no ambiente 1 (clima subtropical)	85
4.2.1.2 Descrição dos dados utilizados no ambiente 2 (clima mediterrâneo)	86
4.2.1.3 Algoritmo resultante da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do rebanho total	87
4.2.1.4 Algoritmo resultante da base de dados do índice de temperatura e umidade do rebanho total	93
4.2.2 Base de dados para vacas em diferentes níveis de produção	104
4.2.2.1 Descrição dos dados utilizados no ambiente 1 (clima subtropical).....	104

4.2.2.2 Descrição dos dados utilizados no ambiente 2 (clima mediterrâneo)	105
4.2.2.3 Algoritmo resultante da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para vacas em diferentes níveis de produção do ambiente 1	107
4.2.2.4 Algoritmo resultante da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para vacas em diferentes níveis de produção do ambiente 2	110
4.2.2.5 Algoritmo resultante da base de dados do índice de temperatura e umidade para vacas em diferentes níveis de produção do ambiente 1	113
4.2.2.6 Algoritmo resultante da base de dados do índice de temperatura e umidade para vacas em diferentes níveis de produção do ambiente 2	115
4.3 Construção de cenários da classificação do estado de conforto térmico	119
4.3.1 Sistema inteligente	124
4.3.1.1 Classificação <i>fuzzy</i> do estado de conforto térmico como função da temperatura e da umidade relativa do ar	124
4.3.1.1.1 Simulação da classificação <i>fuzzy</i> do estado de conforto térmico como função da temperatura e da umidade relativa do ar	128
4.3.1.2 Classificação <i>fuzzy</i> do estado de conforto térmico como função da temperatura retal e da frequência respiratória	129
4.3.1.2.1 Simulação da classificação <i>fuzzy</i> do estado de conforto térmico como função da temperatura retal e da frequência respiratória	131
4.3.1.3 Classificação <i>fuzzy</i> do estado de conforto térmico como função do índice de temperatura e umidade, da temperatura retal e da frequência respiratória	132
4.3.1.3.1 Simulação da classificação <i>fuzzy</i> do estado de conforto térmico como função do índice de temperatura e umidade, da temperatura retal e da frequência respiratória	133
5 CONCLUSÕES	136
REFERÊNCIAS	138
ANEXOS	153

RESUMO

Sistema inteligente aplicado ao acionamento do sistema de climatização em instalações para bovinos leiteiros

O objetivo deste estudo foi desenvolver um sistema especialista para controlar o acionamento do sistema de climatização em instalações para bovinos leiteiros. A modelagem foi desenvolvida a partir de dados fisiológicos dos animais (temperatura retal e frequência respiratória) em função dos dados climáticos do interior das instalações (temperatura e umidade relativa do ar, e índice de temperatura e umidade). O banco de dados foi formado em dois ambientes distintos: clima subtropical (município de São Pedro, SP) e clima mediterrâneo (cidade de Évora, Portugal). Para a formação do banco de dados fisiológicos foram utilizadas vacas Holandesas múltiparas, em lactação, selecionadas de acordo com o peso e a produção de leite. As vacas permaneceram durante todo o dia com livre acesso às baias e demais áreas do abrigo, mas sem acesso à pastagem. A temperatura retal foi obtida por um termômetro clínico digital, inserido no reto, e a frequência respiratória pela contagem dos movimentos da região do flanco, durante 15 s. Para a análise física do ambiente no interior e exterior das instalações utilizou-se de estações meteorológicas, com leituras de temperatura e umidade relativa do ar realizadas a cada 30 min ao longo das 24 horas. No processo inicial de análise dos dados foi utilizada a técnica de Mineração de Dados com o objetivo de formar uma árvore de decisão para a indução de regras. Para isso foi utilizado o programa computacional Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA[®]), versão 3-4, que executou tarefa de classificação, utilizando o algoritmo J48 em validação cruzada (*cross validation*) para a construção da árvore de decisão. Os resultados obtidos foram posteriormente utilizados na aplicação da lógica *fuzzy*, onde foi utilizado o *software Fuzzy Logic Toolbox* do MATLAB[®] 6.1. A análise do banco de dados indicou uma alta capacidade do modelo em representar as classes de conforto para o conjunto de dados analisado. Segundo os resultados é possível adaptar o ITU por intermédio da Mineração de Dados meteorológicos e fisiológicos. A utilização da Mineração de Dados e da lógica *fuzzy* permitiu estabelecer alguns parâmetros ideais de conforto aos bovinos leiteiros da raça Holandesa em lactação manejados em condição de confinamento total. Observou-se que o limite superior da zona de termoneutralidade (ZTN) se situa próximo dos 26°C de temperatura de bulbo seco. Observou-se também que valores do ITU por volta de 77 proporcionam condição normal de conforto para os animais confinados, e quando o ITU atinge valores acima de 80 é indicado estresse térmico alto.

Palavras-chave: Bem-estar animal; Conforto térmico ambiental; Bioclimatologia; Mineração de dados; Lógica *fuzzy*

ABSTRACT

Applied intelligent system used for controlling acclimatization of dairy housing

The objective of this study was to develop a specialist system for controlling the acclimatization system in free-stall dairy housing. The modeling procedure used animal physiological data (rectal temperature and respiratory track) as function of environmental data inside housing (air temperature and relative humidity, and temperature and humidity index). Data base was constructed using two distinct environment as: subtropical climate (São Pedro, SP country) and Mediterranean climate (city of Évora, Portugal). Holstein multipart cows in lactation selected according to their weight and milk yield were used for building the data base with the physiological data. The cows were maintained during all day with free access to the beds and the other áreas in the housing, however without access to pasture. Body core temperature was measured with a clinical thermometer inserted un the rectum, and the respiratory frequency was measured by counting the flank movements for 15s. Meteorological stations were used for registering air temperature and relative humidity every 30 min along 24 hours, for the analysis of the physical environment both inside and outside the housing. In the initial process of analysis of the data base Dataming technique was used with the objective to form a decision tree in order to induce the base of rules. In this stage the software Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA[®]), version 3-4, was used, and executed the task of classifying using the algorithm J48 applying cross validation technique for building up the decision tree. Results obtained were used afterwards applying fuzzy logic using the software Fuzzy Logic Toolbox do MATLAB[®] 6.1. The data base analysis indicated a good capability of the model to represent the classes of thermal comfort for the analyzed data. According to the found results it is possible to adapt the temperature and humidity index (THI) using Datamining of meteorological and physiological data. The use of the association of Datamining and fuzzy logic allowed establishing some ideal thermal comfort parameters for Holstein dairy cattle during lactation housed in total confinement. It was observed that the superior limit for the thermoneutral zone (ZTN) is located near dry bulb temperature of 26°C. It was also found that values of THI around 77 may result in normal comfort conditions for the confined animals, and when the THI reaches values above 80 it indicates high heat stress.

Keywords: Animal welfare; Ambient thermal comfort; Bioclimatologia; Data mining; Fuzzy logic

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição do leite no Brasil em 1993 e em 2003	22
Figura 2 - Classes do Índice de Temperatura e Umidade	33
Figura 3 - Configuração básica da estrutura de modelo de inferência <i>fuzzy</i> de Mandani	55
Figura 4 - Vista externa da instalação utilizada no ambiente 1 (São Pedro) e no ambiente 2 (Évora)	60
Figura 5 - Vista da coleta da temperatura retal de um dos animais selecionados para a coleta dos dados fisiológicos	62
Figura 6 - Esquema de ação da descoberta de conhecimento supervisionada	68
Figura 7 - Média da temperatura de bulbo seco horária no interior e no exterior da instalação no ambiente 1 e no ambiente 2	78
Figura 8 - Média da umidade relativa horária no interior e no exterior da instalação no ambiente 1 e no ambiente 2	79
Figura 9 - Média do índice de temperatura e umidade horário no interior e no exterior da instalação no ambiente 1 e no ambiente 2	80
Figura 10 - Médias da temperatura retal dos animais nos ambientes estudados, nos horários analisados	82
Figura 11 - Médias da frequência respiratória dos animais nos ambientes estudados, nos horários analisados	83

Figura 12 - Árvore de decisão para a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, temperatura retal e frequência respiratória	89
Figura 13 - Árvore de decisão para a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa	92
Figura 14 - Árvore de decisão para o índice de temperatura e umidade	95
Figura 15 - Classes do Índice de Temperatura e Umidade	96
Figura 16 - Árvore de decisão para o índice de temperatura e umidade	99
Figura 17 - Classes do Índice de Temperatura e Umidade	100
Figura 18 - Base de regras com a situação média de temperatura e umidade	125
Figura 19 - Estimativa do estado de conforto térmico no ambiente 1 como função da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%)	125
Figura 20 - Estimativa do estado de conforto térmico no ambiente 2 como função da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%)	126
Figura 21 - Estimativa do estado de conforto térmico como função da temperatura retal e da frequência respiratória, segundo a classificação <i>fuzzy</i>	130
Figura 22 - Base de regras com a situação média da frequência respiratória, da temperatura retal e do índice de temperatura e umidade	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das instalações utilizadas no estudo	59
Tabela 2 - Caracterização linguística da sensação de conforto térmico como função da temperatura retal (°C) e da frequência respiratória (mov min ⁻¹)	67
Tabela 3 - Esquema de saída da matriz de confusão	72
Tabela 4 - Média diária das variáveis climáticas durante o período experimental	76
Tabela 5 - Médias das variáveis fisiológicas dos animais no período experimental ...	81
Tabela 6 - Valor mínimo, máximo e média das variáveis frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa do ar (UR), e índice de temperatura e umidade (ITU) para os dados do ambiente 1 (clima subtropical)	85
Tabela 7 - Valor mínimo, máximo e média das variáveis frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa do ar (UR), e índice de temperatura e umidade (ITU), para os dados do ambiente 2 (clima mediterrâneo)	86
Tabela 8 - Valor mínimo, máximo e média do índice de temperatura e umidade (ITU), temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa do ar (UR) para os dados do ambiente 1	104
Tabela 9 - Valor mínimo, máximo e média das variáveis frequência respiratória (FR) e temperatura retal (TR) para os dados do ambiente 1, nos níveis de produção estudados	105
Tabela 10 - Valor mínimo, máximo e média do índice de temperatura e umidade (ITU), temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa do ar (UR) para os dados do ambiente 2	106
Tabela 11 - Valor mínimo, máximo e média das variáveis frequência respiratória (FR) e temperatura retal (TR) para os dados do ambiente 2, nos níveis de produção estudados	106

Tabela 12 - Precisão e erro do modelo gerado da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para os diferentes níveis de produção estudados no ambiente 1	107
Tabela 13 - Precisão e acertos das classes de conforto em função da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para os diferentes níveis de produção, no ambiente 1	108
Tabela 14 - Precisão e erro do modelo gerado da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para os diferentes níveis de produção estudados no ambiente 2	111
Tabela 15 - Precisão e acertos das classes de conforto em função da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para os diferentes níveis de produção, no ambiente 2	111
Tabela 16 - Precisão e erro do modelo gerado da base de dados do índice de temperatura e umidade para os diferentes níveis de produção estudados no ambiente 1	114
Tabela 17 - Precisão e acertos das classes de conforto em função da base de dados do índice de temperatura e umidade para os diferentes níveis de produção estudados, no ambiente 1	114
Tabela 18 - Precisão e erro do modelo gerado da base de dados do índice de temperatura e umidade para os diferentes níveis de produção estudados no ambiente 2	116
Tabela 19 - Precisão e acertos das classes de conforto em função da base de dados do índice de temperatura e umidade para os diferentes níveis de produção estudados, no ambiente 2	116
Tabela 20 - Classificação do estado de conforto térmico no ambiente 1 como função da T _{bs} (°C) e UR (%)	120
Tabela 21 - Classificação do estado de conforto térmico no ambiente 2 como função da T _{bs} (°C) e UR (%)	121
Tabela 22 - Classificação do estado de conforto térmico nos ambientes estudados como função da temperatura retal (°C) e da frequência respiratória (mov min ⁻¹)	123

1 INTRODUÇÃO

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

Nos últimos 50 anos, percebe-se uma tendência de certos produtores da manutenção dos animais em algum tipo de confinamento, devido ao aumento do tamanho do rebanho e intensificação de suas atividades, e/ou procurando melhorar o conforto térmico para animais de elevada exigência. Certamente, os sistemas de confinamento em muito diferem daqueles onde 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.

Segundo Carvalho e Rodrigues (2006), em levantamento dos maiores produtores de leite do Brasil, no ano de 2005 os 100 maiores produtores produziram 360 milhões de litros, com média de quase 10.000 litros por dia. A maior média de produção (27,2 kg dia⁻¹) foi observada no confinamento total, que foi utilizado por 40% dos produtores. A raças mais utilizada foi a Holandesa, estando presente em 65,4% dos casos.

A bovinocultura é uma atividade que exige muita dedicação do criador para alcançar bons índices de produtividade e, em consequência, resultados econômicos satisfatórios. Fatores ambientais externos e o microclima no interior das instalações exercem efeitos diretos e indiretos sobre a produção leiteira, acarretando a redução da produtividade, com consequentes prejuízos econômicos à exploração. Nas últimas décadas, o aumento da produção de alimentos de origem animal, pressionado por um crescente aumento da população, tem-se caracterizado por um aumento no tamanho das unidades produtivas e na concentração de animais em unidades de produção (ROSSING, 1999).

A avaliação tradicional e o controle do ambiente na produção de animais confinados são baseados principalmente na temperatura do ar. Tal aproximação apresenta problemas inerentes por não se tratar de um método interativo com as necessidades dos animais, pois, a temperatura do ar exclusivamente, não representa o ambiente térmico como um todo, o que também inclui variáveis como umidade (especialmente em circunstâncias quentes), radiação (em instalações mal isoladas), tipo e condição do piso (seco e/ou molhado), variações na condição nutricional e de saúde dos animais.

O conjunto dessas variáveis apresenta a verdadeira necessidade ambiental dos animais. Contudo, se faz necessário o registro de todos os fatores internos e externos para se produzir um índice detalhado de conforto para a avaliação e o controle da produção (WOUTERS et al., 1990).

Em ambientes agrícolas controlados, tal como as instalações de produção animal, torna-se necessário o uso de técnicas de controle das variáveis ambientais. A prévia detecção de condições prejudiciais ou irregulares é muito importante por envolver produtos de valor elevado e o alto custo no sistema de produção. Estas propriedades são controladas geralmente com algum tipo de equipamento local com supervisão humana (COX, 1988).

Assuntos como rastreabilidade da produção, selo de qualidade e zootecnia de precisão estão sendo discutidos em todas as cadeias produtivas, com o objetivo de maximizar os sistemas existentes em prol de melhorias nas condições de produção e, conseqüentemente, do produto final, visando a segurança alimentar.

Quando se fala em segurança alimentar, envolvem-se sistemas de produção com qualidade, certificação de origem, preservação do meio ambiente e bem-estar animal.

Dessa forma, não se pode mais admitir que se fale de sistema de produção animal, cadeia produtiva, padrões comportamentais, sem considerar esses novos conceitos. Diante disso, a utilização de novas tecnologias e ferramentas como a informática (*softwares*), microeletrônica, lógica *fuzzy*, Mineração de Dados, geoestatística aplicada, análise de imagem, sensores e atuadores, podem melhorar o trabalho experimental, favorecendo a acurácia das pesquisas, até então não alcançada

pelos métodos tradicionais de observação.

Os métodos de acionamento do sistema de resfriamento adiabático evaporativo baseados nos níveis de termoneutralidade dos animais não são os mais apropriados para utilização em confinamento de bovinos leiteiros, principalmente por serem muito dispendiosos em água e energia, sendo de fundamental importância o estabelecimento de critérios para a adoção de sistemas de resfriamento ao nível dos produtores.

Diante do exposto e complementando as pesquisas que vêm sendo realizadas, este trabalho teve como objetivo geral o desenvolvimento de um sistema inteligente aplicado ao acionamento do sistema de climatização em instalações para bovinos leiteiros. Para tanto os objetivos específicos foram: utilização da técnica da Mineração de Dados para extração de conhecimento do banco de dados; utilização da Lógica *Fuzzy* para desenvolvimento de um algoritmo para controle do sistema de climatização baseado na resposta fisiológica dos animais ao ambiente térmico em que estão inseridos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Perspectivas da 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 derivados, como iogurte e queijo, consumidos no Brasil, são provenientes de bovinos leiteiros (GUIA ALIMENTAR PARA A POPULAÇÃO BRASILEIRA, 2004).

Nos dias de hoje, o consumidor mostra-se mais consciente e com conceitos mais evoluídos a respeito das questões relacionadas com a saúde e o ambiente, fazendo com que o conhecimento da forma como o produto foi elaborado passe a interferir no critério de escolha e na diferenciação de produtos, com preferência ao consumo de produtos produzidos de forma ambientalmente corretas e socialmente justas, induzindo à incorporação de estratégias que buscam o acompanhamento da produção em todo seu processo.

A bovinocultura de leite é um dos segmentos mais importantes da agropecuária do país e hoje passa por uma grande transformação, em virtude da nova realidade econômica mundial, com adoção de modernas tecnologias, onde só quem produzir com maior eficiência e qualidade estará em condições de competir no mercado. Isso implica, não somente no melhoramento do nível genético dos plantéis e da alimentação dos animais, mas também na construção de instalações adequadamente projetadas observando-se, principalmente, o conforto do animal, baseado na sua relação com o meio ambiente, além dos custos e facilidades para o produtor, no que diz respeito ao manejo, à limpeza e ao aproveitamento da mão-de-obra, independentemente do sistema de criação adotado.

A intensificação pode ocorrer de várias maneiras, principalmente em função de fatores relacionados ao mercado consumidor, nível de investimento, à disponibilidade de mão-de-obra, emprego racional e preservação dos recursos naturais. Sendo assim, as opções direcionam a dois caminhos: a intensificação da produção de leite por vaca, utilizando o confinamento dos animais; e o outro, baseia-se em sistemas de produção extensiva de leite, com os animais no pasto.

Produzir leite no Brasil é hoje, mais do que nunca, um grande desafio ao produtor rural, visto a grande dificuldade de fazer um planejamento ao longo dos anos, em razão da falta de política agropecuária definida do governo e ao próprio cenário econômico-financeiro do país. Atualmente, devido a dificuldade da obtenção de ganhos financeiros associados às atividades empresariais, tornou-se necessário o planejamento de investimentos, custos produtivos e capital imobilizado.

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 do qual o Brasil faz parte. 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 quem é mais eficiente, mesmo fora do Brasil.

Observa-se uma constante diminuição no número de produtores de leite, por meio da oferta de liquidação de plantéis, inclusive de produtores tradicionais, entre outras razões, por não terem condições de acompanhar o aumento do preço dos insumos, sempre em níveis maiores do que a inflação ou do aumento do preço do leite ao produtor (GOMES, 1998). Porém, segundo Carvalho (2004) os leilões de liquidação são sempre utilizados como indicativo da permanente crise do setor, porém, é preciso cautela ao analisar essa informação, pois os leilões acabam tendo visibilidade muito maior do que o número proporcional de leite que é perdido através deles. Os leilões representam um processo de transformação da atividade. Vários laticínios em regiões tradicionais aumentaram a captação nos últimos anos, apesar de terem reduzido o número de fornecedores, ou seja, os produtores que estão continuando na atividade estão aumentando sua produção e utilizando maior nível tecnológico.

2.2 Características econômicas do leite

O leite assume diferentes papéis na dieta humana em função da região do mundo que está sendo considerada. São tradicionais consumidores de produtos lácteos os países do hemisfério Norte (Europa e América do Norte) e, provavelmente em função da baixa disponibilidade destes produtos, observa-se uma menor tradição de consumo

lácteo pelos países tropicais do hemisfério Sul (SANTOS et al., 2004).

Segundo dados da FAO a produção mundial de leite de vaca teve um acréscimo de 15% comparando-se o período de 1995 a 2005, sendo que a produção de tal produto passou de 465 bilhões de litros para estimados 490 bilhões de litros. Não só o número é considerável, como também a continuidade do crescimento chama a atenção. De 2001 para 2005, a produção brasileira cresceu 4,5 bilhões de litros. A Rússia, um dos grandes produtores de leite, apresenta estagnação da produção, assim como a União Européia, responsável por 25% da produção mundial de leite. A Austrália, em função de secas, apresentou decréscimo na produção nos últimos anos. Sendo assim e tendo em vista que o Brasil já é um grande produtor mundial, o crescimento da produção de leite não deve ser menosprezado.

O continente que apresenta a maior produção é a Europa, com 40% do total mundial em 2005, porém, foi a região que apresentou a maior variação negativa da produção no período de 1995 a 2005, com um decréscimo de 5% da produção. A América é o segundo continente em produção de leite de vaca representando 29% da produção total mundial em 2005, seguido da Ásia (23%), Oceania (5%) e da África (4%). A Ásia foi o continente que apresentou a maior variação de 1995 a 2005, observando-se um aumento da produção no continente de 54% no período, sendo seguido da Oceania (40%), África (29%) e América (18%) (ZOCCAL, 2006).

De acordo com os dados da FAO o país que apresentou a maior produção de leite de vaca em 2005 foi os Estados Unidos com cerca de 80 bilhões de litros, representando aproximadamente 15% do total mundial. A Índia aparece como segundo maior produtor mundial (7% do total), seguido Rússia (6%), de Alemanha (5%), França (5%), China (5%) e Brasil, que aparece como sétimo maior produtor mundial com uma produção, em 2005, de cerca de 24 bilhões de litros, representando 4,4% do total mundial.

Segundo dados do ANUALPEC (2002), o Brasil possui o segundo maior número de vacas ordenhadas por ano do mundo, com aproximadamente 20,5 milhões de cabeças, ficando atrás apenas da Índia que possui cerca de 38,5 milhões de cabeças. O fato desses países não despontarem como os maiores produtores mundiais de leite de vaca se deve a baixa produtividade, ou seja, litros de leite produzidos por vaca em um

ano. Neste item o Brasil aparece apenas na 17ª posição, com aproximadamente 1200 litros vaca⁻¹ ano⁻¹ e a Índia na 18ª posição com cerca de 1000 litros vaca⁻¹ ano⁻¹. A maior produtividade é encontrada nos Estados Unidos, seguido do Canadá com, respectivamente, cerca de 8900 e 7600 litros vaca⁻¹ ano⁻¹ (ZOCCAL, 2006).

Segundo a FAO, a Índia é o país com maior crescimento previsto na produção de 2002 a 2010, com acréscimo de 27 bilhões de litros. O Brasil é o segundo do *ranking*, com 9 bilhões.

O rebanho leiteiro total do Brasil em 2001, segundo o ANUALPEC (2003), era de aproximadamente 34,7 milhões de cabeças, o que representa 20% do rebanho bovino total no país. A região Sudeste destaca-se como a que possui o maior rebanho leiteiro do Brasil, com cerca de 10 milhões de cabeças, sendo seguida pela região Nordeste (9 milhões), Centro-Oeste (7 milhões), Sul (6 milhões) e Norte (2,5 milhões) (LEITE BRASIL, 2004). Segundo Alvim (2005) a produção de leite brasileira em 2003 foi de 22 bilhões de litros, sendo que houve um crescimento da produção de aproximadamente 43% em relação a 1993. A distribuição entre os estados em 1993 e em 2003 se deu segundo a Figura 1.

No período de 1998 a 2003 observou-se um aumento de 21% na produção de leite e um aumento de 11% no número de vacas ordenhadas, evidenciando-se o início da preocupação dos produtores com o aumento da produtividade do rebanho. No período em questão a quantidade de leite recebida sob inspeção cresceu cerca de 25%, porém, manteve-se em um patamar de aproximadamente 60% em relação a produção total de leite, ou seja, o aumento da quantidade de leite inspecionada tem acompanhado o aumento da produção.

Com o crescimento da produção de leite no Brasil teve início, em 2000, a exportação de leite, com valores pouco significativos, da ordem de 42 milhões de litros, porém, em apenas seis anos, já atingiu 600 milhões de litros, valor que só tende a subir, evidenciando a preocupação do Brasil em conquistar o importante mercado internacional. Com relação ao consumo *per capita* no Brasil, observou-se um pequeno aumento no período de 2000 a 2006, passando de 127 para cerca de 137 litros de leite por pessoa por ano (ZOCCAL, 2006).

Figura 1 - Distribuição do leite no Brasil em 1993 e em 2003 (ALVIM, 2005)

De acordo com Carvalho (2004) apesar do crescimento da produção do leite no Brasil estar em regiões não tradicionais, onde a atividade é marcadamente familiar ou extensiva, há produtores familiares e de pequeno porte que estão produzindo com emprego de tecnologia e tendo lucro econômico, a ponto de competir com outras atividades. Já no grupo dos maiores produtores de leite, há um outro aspecto que explica o crescimento da atividade, com a granelização e preocupação crescente com a qualidade do leite, a disparidade de preços entre produtores aumentou, abrindo oportunidades para produtores de maior volume de leite e qualidade superior.

Segundo dados de Meireles (2002) mais de 1 milhão de produtores se dedicam parcial ou integralmente à atividade leiteira, gerando mais de 4 milhões de empregos diretos, o que representa 15% da população rural do país. A atividade leiteira, além de ser a maior geradora de empregos permanentes no campo, é a única atividade rural que exige a presença do homem todos os dias do ano e, assim, é a que mais evita o êxodo rural. Investir na atividade leiteira, portanto, não visa apenas o crescimento econômico,

mas tem um importante efeito nos indicadores sociais, além de reduzir o inchaço das metrópoles com todos os problemas dele decorrentes.

Segundo levantamento da Top 100 2006 do MilkPoint os 100 maiores produtores de leite do país produziram 360 milhões de litros em 2005, com média de quase 10.000 litros por dia, um crescimento de 4,5% em comparação a 2004. A raça Holandesa, com 65% das indicações, foi a principal raça utilizada, seguida da girolando, com 28%, Jersey, Gir, Guzerá e Pardo-Suíço também apareceram na pesquisa. O sistema de produção de maior ocorrência entre os 100 maiores produtores é o semi-confinamento, com 45%. Em segundo lugar, com 40% dos produtores, vem o confinamento total dos animais. O uso de pastagens é citado por 15% das propriedades. A média de produção dos rebanhos confinados foi de 27,2 kg dia⁻¹. No semi-confinamento foi de 22,1 kg dia⁻¹ e em sistemas de pastagens, 17,4 kg dia⁻¹. Nota-se pelos dados citados acima que, apesar do sistema de confinamento não ser o mais utilizado entre os 100 maiores produtores de leite, é o que possibilita a maior média de produção diária, sendo, portanto, o sistema de maior peso no cálculo da média de produção do setor e o que apresenta maior potencial para que essa média seja aumentada.

Devido ao elevado volume de leite sem inspeção oficial no país é fundamental, principalmente para o segmento formal do setor lácteo, que o governo realize um programa consistente, abrangente e permanente de combate à informalidade, fraude e sonegação fiscal. Além disso, deve-se dar a devida atenção à qualificação da mão-de-obra, possibilitando o acesso a novos conhecimentos e a absorção das mudanças tecnológicas que ocorrerem no setor. O setor lácteo mostrou que tem competência para superar desafios e o Brasil pode vir a ser um dos mais importantes produtores e exportadores de leite do mundo. Os recursos de que necessita para se desenvolver são pequenos em face dos inúmeros benefícios econômicos e sociais que poderá gerar (MEIRELES, 2002).

2.3 Bem-estar animal

Na concepção atual de uma crescente parcela do mercado consumidor de produtos de origem animal, para que um sistema de produção seja defensável

eticamente e aceitável socialmente deve atender as exigências de segurança alimentar e de sustentabilidade, ser ambientalmente correto, além de promover o bem-estar dos animais em todo o ciclo de produção. Segundo Warriss (2000), as pessoas desejam obter alimentos de origem animal com “qualidade ética”.

O termo bem-estar animal tem sido objeto de diferentes definições por diferentes autores. Broom (1991) definiu bem-estar como o estado de um indivíduo em relação ao seu ambiente, sendo dependente da capacidade do organismo de responder ou de se adaptar a esse ambiente. Já para Hurnik (1992), o bem-estar caracteriza-se por condições físicas e fisiológicas ótimas e alta qualidade de vida do animal, ou seja, é o estado de harmonia entre o animal e seu ambiente.

Fraser (1999) resumiu o conceito de bem-estar animal em três questões principais, como segue abaixo:

1. os animais devem sentir-se bem, não serem submetidos ao medo, à dor ou estados desagradáveis de forma intensa ou prolongada;
2. os animais devem funcionar bem, no sentido de saúde, crescimento e funcionamento comportamental e fisiológico normal;
3. os animais devem levar vida natural, através do desenvolvimento e do uso de suas adaptações naturais.

A Farm Animal Welfare Council (FAWC), apud Chevillon (2000), definiu o bem-estar mediante o reconhecimento das cinco liberdades inerentes aos animais, definição esta bastante utilizada atualmente:

1. a liberdade fisiológica (ausência de fome e de sede);
2. a liberdade ambiental (edificações adaptadas);
3. a liberdade sanitária (ausência de doenças e de fraturas);
4. a liberdade comportamental (possibilidade de exprimir comportamentos normais);
5. a liberdade psicológica (ausência de medo e de ansiedade).

Segundo Fraser et al. (1975), diz-se que um animal está em estado de estresse, ou seja, não está em bem-estar, se é necessário que se façam ajustes anormais ou extremos em sua fisiologia ou comportamento para ajustar-se a aspectos adversos do seu ambiente e manejo. Essa adaptação envolve uma série de respostas neuroendócrinas, fisiológicas e comportamentais que funcionam para tentar manter a

homeostase, o equilíbrio de suas funções, e a integração desses três sistemas (BARNETT; HEMSWORTH, 1990; VAN BORELL, 1995). Portanto, de acordo com Van Borell (1995), o estresse é um termo geral que implica em uma ameaça à qual o corpo precisa se ajustar.

A avaliação do bem-estar animal, assim como sua definição, passa por diversas abordagens, sendo todos os critérios baseados em demonstrar alguma evidência de mudança (BARNETT; HEMSWORTH, 1990), algumas enfatizando os atributos físicos (crescimento e saúde), mentais (prazer ou sofrimento) e a naturalidade que reflete a proximidade ou a distância do ambiente natural (APPLEY; WEARY, 2000). Um outro componente na avaliação do bem-estar animal é o ambiental, que pode ser dividido, segundo Baldwin (1979), em social (hierarquia, tamanho e composição do grupo, presença ou ausência de animais estranhos), de manejo (dieta, formas de arração, desmame), e físico (temperatura, umidade, ventilação e tipologia das instalações), sendo que, de acordo com Ashrae (1983), o ambiente físico, por abranger os elementos meteorológicos que afetam os mecanismos de transferência de calor, a regulação e o balanço entre o animal e o meio, exerce forte influência sobre o desempenho e a saúde dos animais.

Na prática da etologia, o bem-estar é avaliado por meio de indicadores fisiológicos e comportamentais. As medidas fisiológicas associadas ao estresse têm sido usadas baseando-se na premissa de que, se o estresse aumenta, o bem-estar diminui. Já os indicadores comportamentais são baseados especialmente na ocorrência de comportamentos anormais, e de comportamentos que se afastam do comportamento no ambiente natural.

Um animal que não esteja em condição de bem-estar não irá desenvolver seu potencial produtivo em sua magnitude, mesmo que condições sanitárias e nutricionais estejam aparentemente satisfeitas. Os sistemas de confinamento tem como alguns dos objetivos reduzir trabalho, perda energética dos animais, ganhar espaço e controle ambiental, porém, de acordo com Machado Filho (1998), podem gerar condições inadequadas como, por exemplo, limitação de espaço, alta densidade animal, presença de microorganismos, condições de temperatura e luminosidade inadequadas, e ruídos, agravando problemas de comportamento e bem-estar e impossibilitando o animal de

desenvolver seu sistema natural de comportamento.

Dessa forma, a avaliação do bem-estar animal na exploração agropecuária pode envolver aspectos ligados às instalações, ao manejo e ao ambiente, tais como a distribuição de água e de comida, existência de camas, possibilidade de movimento, descanso, contato entre animais e reprodução, temperatura, ventilação, luz, espaço disponível ou tipo de pavimento.

2.4 Termoneutralidade

Os animais vivem em equilíbrio dinâmico com o meio e a ele reagem de forma individual. Sua produção está condicionada às influências do ambiente, o qual não se mantém constante ao longo do tempo. A vulnerabilidade dos animais às condições meteorológicas, uma vez deslocados para um ambiente diferente do original ou frente a mudanças dentro do mesmo ambiente, faz com que recorram a mecanismos de adaptação fisiológica a fim de manter a homeostase (BACCARI JÚNIOR, 2001).

De acordo com Hahn (1993) o estresse caracteriza a soma dos mecanismos de defesa do organismo em resposta a um estímulo provocado por um agente estressor, externo ou interno, para manter o equilíbrio fisiológico. Para Head (1995), a garantia do conforto animal em climas quentes é conseguida pela minimização dos efeitos do estresse térmico, que alteram os três processos vitais dos animais: a manutenção, a reprodução e a produção.

O estresse climático é função da temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, vento, temperatura corporal e intensidade/duração do agente estressor, podendo resultar em decréscimo na produção e distúrbios reprodutivos. Segundo Ashrae (1983), o ambiente físico exerce forte influência sobre o desempenho animal, uma vez que abrange elementos meteorológicos que afetam os mecanismos de transferência de calor e a regulação do balanço térmico entre o animal e o meio. A resposta dos animais a um evento estressante compreende três componentes principais: o reconhecimento da ameaça a homeostase ou ao bem-estar, a resposta, e as conseqüências do estresse. Já de acordo com Moberg (1987), uma série de fatores como experiência anterior, genética, idade, sexo ou condições fisiológicas modelam a natureza da resposta biológica de um animal a um estressor.

A faixa de temperatura ambiente na qual os animais não estão sujeitos ao estresse térmico, ou seja, se encontram em conforto térmico, é denominada de zona de termoneutralidade. De acordo com Baccari et al. (1997) nesta faixa os animais não sofrem estresse por frio ou calor e o sistema termorregulador não é acionado, seja para fazer termólise ou termogênese, mantendo uma variação normal de temperatura corporal e de frequência respiratória. O apetite é normal, assim, o gasto de energia para manutenção é mínimo, resultando em máxima eficiência produtiva. Os limites da zona de termoneutralidade são a temperatura crítica inferior (TCI), abaixo da qual o animal entra em estresse pelo frio, e a temperatura crítica superior (TCS), acima da qual a situação é de estresse pelo calor (BACCARI JÚNIOR, 1998).

Existe uma grande variação na literatura sobre as temperaturas crítica superior e inferior para a produção de leite, sendo a temperatura ótima dependente da espécie, raça, nível de produção, estágio fisiológico, plano nutricional e grau de tolerância ao calor e ao frio. Head (1989) afirma que, uma vez que a carga térmica total resulta da produção de calor metabólico mais o calor ambiental, vacas de alta produção, as quais apresentam metabolismo intenso devido à ingestão de grandes quantidades de nutrientes, têm maior dificuldade para manter a temperatura corporal em níveis normais, sendo mais sensível ao calor que uma vaca de baixa produção.

De acordo com Nääs (1989) em função da umidade relativa do ar e radiação solar local, a faixa de termoneutralidade de vacas Holandesas, em lactação, poderia ser restringida em termos de temperatura do ar, entre 7 a 21°C. Já para Huber (1990), esta faixa varia de 4°C a 26°C.

De acordo com Pennington e Vandevender (2005), quanto maior o valor da umidade relativa menores são os valores aceitáveis da temperatura do ar para que o animal continue em conforto térmico, sendo verificado sinais de moderado estresse térmico quando a temperatura está entre 27 e 32°C com umidade maior que 50%, e em temperaturas entre 32 e 38°C e umidade maior que 50% as vacas mostram sinais evidentes de estresse térmico. Já West (2003) afirma que, quando a temperatura ambiente for superior a 29°C e a umidade relativa correspondente a 40%, a produção da vaca Holandesa, Jersey e Pardo-Suiça equivale a 97, 83 e 98% da produção de leite normal. Quando a umidade relativa for igual a 90% a produção de leite será 69, 75 e

83% da produção normal.

A temperatura crítica superior para vacas em lactação Pardas Suíças e Jersey pode chegar a 27°C e 29°C, respectivamente (HAFEZ, 1975 *apud* BACCARI JÚNIOR, 1998). Já para vaca Zebu, a temperatura crítica superior varia entre 30°C e 35°C (BIANCA, 1965 *apud* BACCARI JÚNIOR, 1998). Fuquay (1997) considerou para o gado europeu valores de temperatura crítica superior entre 25 a 27°C. Berman et al. (1985), sugerem que esta temperatura estaria entre 25 a 26°C para vacas em lactação, independente desta de ter sido submetida à aclimação prévia ou nível de produção. Baêta e Souza (1997) consideram que a TCS seria de 27°C para bovinos adultos, podendo variar para mais ou para menos em função da adaptação do animal ao frio e ao calor e também em função do tempo de exposição e do nível de produção do animal. Para Roenfeldt (1998), acima da temperatura crítica superior, o aumento da temperatura corporal influencia negativamente o desempenho, reduzindo a produção e alterando a composição do leite.

Para tentar manter a homeotermia, ou seja, a temperatura corporal constante independentemente das variações da temperatura ambiente, os animais lançam mão de trocas de calor com o meio ambiente, através de mecanismos fisiológicos, metabólicos e comportamentais, agrupados em meios evaporativos e não evaporativos.

Segundo Johnson (1987) a dissipação de calor por meios não evaporativos, ou seja, pela condução, convecção e radiação, requer um diferencial de temperatura entre o animal e o meio ambiente, o que nem sempre acontece em condições de clima quente, sendo facilitada pela vasodilatação periférica, que é responsável pelo redirecionamento do fluxo sanguíneo dos órgãos internos para a superfície corporal.

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 do que a do ambiente, o organismo cederá calor às moléculas do ar. No processo de convecção o ar entra em contato com a pele e aquece-se, tornando-se menos denso, deslocando-se em direção ascendente, dando lugar a outras moléculas do ar, ainda frias, que entram em contato com a superfície do corpo, onde 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. Tal perda pode ser facilitada pelo uso de ventiladores ou orientação adequada do eixo central da instalação favorecendo a ventilação natural. A perda de calor por radiação consiste na emissão de ondas eletromagnéticas (radiação infravermelha, 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, entretanto, esta via é mais importante para a aquisição de calor que propriamente pela perda. A disponibilidade de áreas sombreadas tem demonstrado resultados expressivos no aumento da produção de leite (BACCARI JÚNIOR, 2001).

Shearer e Beede (1990) relataram que na zona de conforto térmico, para a maioria dos ruminantes, aproximadamente 75% das perdas de calor ocorrem pela forma não evaporativa (trocas secas). Quando a temperatura ambiente ultrapassa a temperatura crítica superior, o gradiente torna-se pequeno para que o resfriamento não evaporativo seja efetivo. Nesse caso, os animais utilizam os mecanismos evaporativos (respiração e sudação) para manter o balanço térmico, que corresponde a quarta via de perda de calor, tornando-se a principal via de dissipação, com cerca de 80% do calor perdido dessa forma. Quando a temperatura ambiente ultrapassa os valores máximos de conforto para o animal a umidade relativa assume fundamental importância na eliminação de calor, pois, segundo Sota (1996), em condições de umidade elevada o ar saturado irá inibir a evaporação da água pela pele e sistema respiratório, proporcionando um ambiente ainda mais estressante para o animal.

Para Baccari Júnior (2001) dentre as respostas fisiológicas de trocas de calor com o meio ambiente destacam-se a vasodilatação periférica e aumentos na taxa de sudorese e frequência respiratória. Já no campo imunológico, os glicocorticóides produzem alterações no número de glóbulos brancos, e inibem a resposta linfocitária aos desafios imunogênicos. Como resposta comportamental destaca-se, além do aumento no número de visitas ao bebedouro, a procura por sombra nas horas mais quentes do dia na tentativa de amenizar os efeitos do estresse térmico causado pela radiação solar direta, principalmente pelos bovinos de origem européia, não bem adaptados geneticamente ao calor.

O ambiente térmico representa, portanto, um fator de restrição para a eficiência

máxima de produção, principalmente nos sistemas intensivos. De acordo com Huber (1990) tem sido considerado que a maior influência do estresse pelo calor sobre a produção de leite é exercida pela diminuição no consumo de alimentos (matéria seca) e conseqüente 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. 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 se faz lentamente e sem retornar ao nível anterior ao estresse.

2.5 Índices de conforto térmico

Segundo Moura e Nääs (1993), os índices de conforto térmico foram desenvolvidos para caracterizar ou quantificar as zonas de conforto térmico adequadas às diferentes espécies animais, apresentando em uma única variável, tanto os fatores que caracterizam o ambiente térmico que circunda o animal, como o estresse que tal ambiente possa estar causando no momento.

De acordo com Nääs, (1998) os índices de conforto podem ser classificados de acordo com a maneira com que foram desenvolvidos em:

- índices biofísicos: seu desenvolvimento é baseado nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos de conforto com as trocas de calor que os originam.
- índices fisiológicos: baseiam-se nas relações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura ambiente, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar.
- índices subjetivos: são baseados nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

No desenvolvimento de um índice de conforto térmico sintetiza-se em uma única variável diversos fatores meteorológicos relevantes para a criação de certo animal e ressalta-se o peso que cada fator possui dentro desse índice, conforme sua importância relativa também ao animal (CLARK, 1981). Para a escolha de um ou outro índice, deve-se levar em conta as condições ambientais, a atividade desenvolvida pelo animal

(totalmente estabulado, semi-estabulado ou a pasto) e a maior ou menor importância de um ou outro aspecto do conforto.

As respostas dos animais ao estresse térmico variam de espécie para espécie e dentro da espécie, na qual variam conforme o estágio de desenvolvimento do animal. Devido a essas variações, os índices desenvolvidos para determinada espécie e fase de crescimento, em determinado ambiente físico, nem sempre podem ser aplicados a outros animais nem utilizados em regiões com características climáticas diferentes das do local de origem do índice. Para Silva (2000) a dificuldade do uso generalizado dos índices ocorre em razão de que alguns destes são desenvolvidos para determinar a adequação de um ambiente com relação a uma atividade ou a um tipo específico de animal. Determinados fatores ambientais podem ser importantes para alguns animais e não para outros. Além disso, os índices são baseados em associações específicas de fatores ambientais, que ocorrem em locais determinados.

2.5.1 Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi desenvolvido originalmente por Thom (1959) para estimar a sensação de conforto térmico humano para diferentes temperaturas e umidades relativas do ar, sob baixas velocidades do vento. Posteriormente, foi utilizado para descrever o conforto térmico de animais desde que Johnson et al. (1962) observaram que as mesmas variáveis psicrométricas causadoras do desconforto térmico em humanos também causam certo desconforto em vacas leiteiras, acarretando decréscimos na produção de leite. Da mesma forma, mais tarde, Hahn (1985) encontraram inter-relação entre a produção de leite e o valor de ITU. De acordo com Buffington et al. (1981) o ITU é o índice mais utilizado pela maioria dos pesquisadores para avaliação do conforto em animais, já que é de mais fácil obtenção. O ITU considera em seu cálculo a temperatura e a umidade relativa do ar, que são duas variáveis de obtenção fácil nas estações meteorológicas e nas propriedades rurais. A equação para o cálculo deste índice, de acordo com a equação desenvolvida originalmente por Thom (1959), está descrita na eq. (1):

$$ITU = T_{bs} + 0,36 T_{po} + 41,2 \quad (1)$$

em que:

Tbs - temperatura de bulbo seco, °C;

Tpo - temperatura de ponto de orvalho, °C.

O animal dentro de uma faixa de ITU considerada adequada produzirá de acordo com o seu potencial genético. Vários índices têm sido desenvolvidos com o objetivo de determinar níveis de conforto térmico nas diferentes condições ambientais e existem vários relatos sobre os limites do ITU, porém, é preciso levar-se em consideração que estes limites podem sofrer variações em função da região e dos animais utilizados na propriedade e, portanto, se fazem necessárias adaptações do índice de conforto térmico para que ele possa ser convenientemente utilizado em uma região diferente daquela onde foi desenvolvido.

Segundo Hahn (1985); Du Preez et al. (1990); Igono et al. (1992) os valores de até 70, 70 e 72, respectivamente, refletem uma condição normal de conforto para os animais. Da mesma forma não há um consenso a respeito dos valores de ITU que sugerem estresse térmico alto, sendo mencionados valores acima de 79 (HAHN, 1985), acima de 78 (DU PREEZ et al., 1990) e acima de 76 (IGONO et al., 1992). De acordo com Hahn e Mader (1997), o estresse severo pode levar os animais a óbito, quando o ITU for superior a 84 e não ocorrer recuperação durante o período noturno, ou seja, se o ITU não for inferior a 74. Por outro lado, Martello (2002) não observou alteração na condição normal de termorregulação em vacas Holandesas quando as médias diárias do ITU não ultrapassaram 76. USDC-ESSA (1970) *apud* Nienaber e Hahn (2004) e Rosenberg et al. (1983) classificaram o ITU da seguinte forma, conforme mostrado na Figura 2: menor a 74 a situação é normal; entre 75 e 78 significa alerta para o produtor e providências devem ser tomadas para evitar perdas na produção; entre 79 e 83 significa perigo, principalmente para rebanhos confinados, e medidas de segurança devem ser tomadas para evitar perdas desastrosas; e, ao ultrapassar o índice de 84, a situação é de emergência e providências urgentes devem ser tomadas, para evitar mortes dos animais. Matarazzo (2004) observou que, mesmo sob ambiente com ITU acima de 75, as variáveis temperatura retal e frequência respiratória de vacas Holandesas em um rebanho comercial na região sudeste do Brasil não indicaram presença de estresse.

		Relative Humidity, %																			
Temperature, °C		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	20	63	63	63	64	64	64	64	65	65	65	66	66	66	66	67	67	67	67	68	68
	22	64	65	65	66	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72
	24	66	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
	26	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	77	77	78	78	79
	28	70	70	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82
	30	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86
	32	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88	89	90
	34	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
	36	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	93	94	95	96	97
	38	78	79	81	82	83	84	85	86	88	89	90	91	92	93	95	96	97	98	99	100
	40	80	81	82	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101	103	104

Figura 2 - Classes do Índice de Temperatura e Umidade (USDC-ESSA, 1970 *apud* NIENABER; HAHN, 2004)

2.6 Efeitos do Estresse na Produção Leiteira

O ambiente ao redor do animal envolve fatores que irão afetar seu desenvolvimento, bem-estar e produtividade. A especialização para a alta produção leiteira envolve metabolismo intenso, ingestão de grandes quantidades de energia metabolizável, alta eficiência na utilização dos alimentos e grande produção de calor endógeno. Agindo como uma alternativa do animal para minimizar o desbalanço térmico e manter a homeotermia, a redução no consumo de alimentos é a principal razão para o decréscimo na produção de leite em climas quentes, sendo que, segundo Yousef e Johnson (1985), dependendo da intensidade do estresse, proporção de volumosos e densidade energética da dieta, essa redução da ingestão de alimentos pode ser de 20 a 30% em matéria seca. Esta reação está diretamente relacionada com o nível metabólico e à produção de calor, o que é responsável pela redução na produção de leite e também pela redução de ácidos graxos voláteis no rúmen.

Outra forma de defesa do animal ao estresse térmico é o aumento da ingestão de água, visando reposição de perdas sudativas e respiratórias e resfriamento corporal. Esta ingestão poderá até duplicar, em função da temperatura do ar.

Outra possível consequência do estresse térmico é a alteração da composição do leite, com redução nos teores de gordura, proteínas e vários minerais como Ca, P, K e

Na. Além disso, a situação de estresse, comprovadamente, tem influência no desenvolvimento de processos fisiológicos normais do organismo, visto que, situações estressantes, ocorridas antes ou durante a ordenha, induzem a secreção de adrenalina pela glândula supra-renal, e esta tem ação contrária a ocitocina, que é a responsável pelo processo de descida do leite nos bovinos durante a ordenha. Essa retenção do leite predispõe a ocorrência de quadros de mastite, pois favorece a proliferação de microorganismos no leite retido.

Uma dos motivos que levam a diminuição na produção de leite em situações de estresse, de acordo com Shearer e Beede (1990), é a ocorrência da vasodilatação periférica e o redirecionamento do fluxo sanguíneo dos órgãos internos para os tecidos periféricos, proporcionando um menor afluxo de sangue à veia porta (fígado) e a glândula mamária, e conseqüentemente, menor quantidade de nutrientes e energia estarão disponíveis para a produção de leite.

2.7 Fisiologia animal

Segundo Esmay (1982) as condições termodinâmicas do ambiente irão determinar a quantidade de calor trocado entre o animal e sua circunvizinhança, sendo o sistema termorregulador ativado para manter o equilíbrio térmico quando a temperatura for maior ou menor que a faixa estabelecida como ótima de conforto. De acordo com Coppock e West (1986) uma consequência do esforço extra desse meio natural de controle da temperatura do organismo pode ser a alteração na produtividade, pois a manutenção da homeotermia é prioridade para os animais, imperando sobre as funções produtivas como produção de leite e reprodução.

Baccari Júnior (1998) concluiu que vacas em lactação, submetidas a condições de estresse térmico, alteram negativamente suas respostas no que diz respeito ao consumo de matéria seca e, também, das principais variáveis fisiológicas utilizadas como indicadores de estresse térmico em animais, que são a frequência respiratória e a temperatura corporal.

2.7.1 Temperatura retal (TR)

A temperatura corporal resulta do equilíbrio entre o ganho e a perda de calor do corpo, isto é, do equilíbrio entre a quantidade de calor produzida no organismo, ou por ele absorvida, e a quantidade liberada para o ambiente. O calor necessário para manter a temperatura corporal deriva do metabolismo energético (oxidação de nutrientes dos alimentos ingeridos) e da absorção da radiação solar direta ou indireta (BACCARI JÚNIOR, 2001). Porém, Silva (2000) relatou que, em razão das diferenças na atividade metabólica dos diversos tecidos, a temperatura não é homogênea no corpo todo e varia de acordo com a região anatômica. As regiões superficiais apresentam temperatura mais variável e mais sujeita às influências do ambiente externo. A região que apresenta temperatura mais próxima da temperatura corporal profunda (TCP) é o reto. Embora a temperatura retal (TR) não represente uma média da TCP, o equilíbrio na TR ocorre mais lentamente do que em outros pontos internos, tornando-se um índice de equilíbrio dinâmico verdadeiro. Segundo Silva (2000) a temperatura retal é um bom indicador da temperatura corporal e, além disso, deve-se considerar ainda a praticidade de se proceder à aferição.

Mota (1997) afirma ser possível através da medida da temperatura retal determinar o equilíbrio entre o ganho e a perda de calor do corpo, sendo a medida da temperatura retal usada freqüentemente como índice de adaptabilidade fisiológica aos ambientes quentes, pois seu aumento mostra que os mecanismos de liberação de calor se tornaram insuficientes para manter a homeotermia.

Em estudo comparativo de tolerância ao calor em novilhas das raças Gir, Pardo Suíça, Jersey, Guernsey e Holandesa, realizado em Minas Gerais, Chquiloff (1964) analisou a temperatura retal à sombra e ao sol, e concluiu que a elevação da temperatura do ar induziu, em todas as raças, um aumento da temperatura retal.

McDowell et al. (1954) concluíram que a temperatura retal normal aceita para todas as raças bovinas é de 38,3°C, com alguma variação de acordo com a raça, idade, estágio de lactação, nível nutricional e estágio reprodutivo. Já Kolb (1987) chegou ao valor de $38,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ da temperatura retal média para bovinos acima de um ano. Já para Stober (1993) a temperatura retal normal da vaca leiteira, em termoneutralidade e em repouso, varia, geralmente, entre 38,0°C e 39,5°C. Para Silva (2000) a faixa de

temperatura retal considerada normal é de 37,5°C a 39,3°C.

Igono et al. (1985) observaram valores de TR de 39,1°C e 38,6°C para vacas alojadas em ambientes com ITU de 75,9 e 73,9, respectivamente.

Segundo Martello (2002), a temperatura retal sofre interação com a hora do dia, apresentando um maior valor durante o período da tarde em relação ao da manhã, ou seja, é um evento biológico de ocorrência periódica, obedecendo a um ritmo ou ciclo circadiano, variando também com a categoria animal analisada, sendo que as novilhas apresentam, na maior parte do dia, temperatura retal maior em comparação às vacas. Porém, os autores observaram que os valores de TR sempre ficaram dentro da faixa considerada normal para bovinos, segundo Kolb (1987).

Martello (2002); Perissinotto (2003); Matarazzo (2004), verificaram que mesmo em condições consideradas estressantes pela literatura não houve alteração na condição normal de termorregulação dos animais (temperatura retal e frequência respiratória), e afirmam que se fazem necessárias investigações adicionais acerca dos limites críticos destes índices para vacas em lactação criadas em regiões de clima tropical.

Igono e Johnson (1990) afirmam que as vacas de alta produção em início de lactação são mais sensíveis ao estresse térmico e a produção de leite diminui significativamente quando a temperatura retal excede 39°C por mais de 16 horas.

Baseado nas respostas termorregulatórias, principalmente na temperatura corporal, Bianca (1961) classificou o estresse térmico da seguinte maneira:

- Estresse brando: os mecanismos termorregulatórios são eficientes em manter a temperatura corporal na faixa de normalidade;
- Estresse moderado: os mecanismos termorregulatórios são intensificados e a temperatura corporal pode estabilizar-se, porém em nível mais elevado;
- Estresse severo: os mecanismos termorregulatórios vão se tornando ineficientes e a temperatura corporal aumenta continuamente;
- Estresse excessivo: os mecanismos termorregulatórios tornam-se insuficientes ocorrendo então uma hipertermia acentuada e o animal sucumbe em curto espaço de tempo.

2.7.2 Freqüência respiratória (FR)

O primeiro sinal visível de resposta ao estresse térmico é a taquipnéia, embora este seja o terceiro mecanismo na seqüência de adaptação fisiológica, pois a vasodilatação periférica e o aumento da sudorese ocorrem previamente (CUNNINGHAN, 1999).

Para Benjamin (1981) o aumento da freqüência respiratória, quando considerada por curto período, caracteriza-se como um mecanismo eficiente de perda de calor. Entretanto, quando este mecanismo passa a ser exigido durante períodos prolongados, pode acarretar problemas aos animais, tais como: interferir na ingestão de alimentos e ruminação, proporcionar calor endógeno adicional em função da atividade muscular (ofegação), desviar energia de outros processos metabólicos e, ainda, redução da capacidade combinante do CO₂ com conseqüente diminuição na concentração de ácido carbônico no sangue, resultando em alcalose respiratória.

Segundo 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 com o suor. Tal processo se torna possível devido ao calor latente de vaporização. O gasto de energia dispendido pelas vacas para eliminar calor do corpo, principalmente pelo aumento da freqüência respiratória e, também, pelo trabalho das glândulas sudoríparas para produzir mais suor, é um dos fatores que explica 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 (homeostase).

De acordo com Aguiar et al. (1996) a freqüência respiratória de vacas Holandesas durante o verão relaciona-se com as condições do ambiente, com ocorrência de taquipnéia sob estresse brando. Ressalta-se que, embora o aumento da TR ou da FR nos animais submetidos a Tbs ou ITU elevados seja evidente, é importante avaliar se tal aumento afeta o desempenho produtivo do animal. Os ruminantes utilizam os mecanismos termorregulatórios justamente para aliviar o acúmulo de calor e, dependendo do nível do estresse, tais mecanismos podem ser eficientes a ponto de evitarem prejuízo à produção.

Berman et al. (1985) relataram que em condições subtropicais, os trabalhos

realizados com vacas de alta produção, mostraram frequência respiratória entre 50 a 60 mov min^{-1} quando a temperatura ambiente foi superior a 25°C.

Sob temperatura de 31°C e ITU igual a 79, vacas Holandesas apresentaram frequência respiratória de 68 mov min^{-1} , com uma variação de 44 a 108 mov min^{-1} (BACCARI JÚNIOR et al., 1995).

Segundo Hahn et al. (1997) a frequência respiratória correspondente a 60 mov min^{-1} indica animais com ausência de estresse térmico ou este é mínimo. Stowell (2000) observou que 80 a 90 mov min^{-1} era uma clara indicação de que as vacas estariam submetidas ao estresse calórico.

Nääs e Arcaro Junior (2001) em experimento realizado no verão, na região de Nova Odessa, Estado de São Paulo, avaliaram o efeito da aspersão sobre animais da raça Holandesa, encontrando menor frequência respiratória em vacas lactantes em ambiente com ventilação forçada e aspersão d'água, comparada a vacas em ambiente sem climatização, com valores oscilando entre 42,8 e 47,6 mov min^{-1} . Efeito semelhante foi encontrado por Martello (2002), na região de Pirassununga, SP, onde vacas lactantes sem climatização atingiram 63,4 mov min^{-1} no período mais quente do dia. Já Perissinotto (2003), comparando o efeito da nebulização e da aspersão em galpão para confinamento de gado leiteiro na região de São Pedro, SP, encontrou valores médios de frequência respiratória de 55 mov min^{-1} para vacas submetidas à aspersão, e 56 mov min^{-1} para nebulização. Martello (2006), também na região de Pirassununga, encontrou valores de frequência respiratória durante os períodos mais quentes de primavera e verão de 50 e 58 mov min^{-1} , respectivamente.

O trabalho de Azevedo et al. (2005) teve como objetivo estimar valores críticos do ITU para vacas leiteiras de diferentes graus genéticos, com produção média superior a 10 kg $\text{vaca}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Os melhores modelos que explicam os efeitos do ITU sobre as variáveis fisiológicas apresentaram R^2 iguais a 43,2; 62,1 e 31,2 para temperatura retal, frequência respiratória e temperatura do pelame, respectivamente.

2.8 Controle do ambiente e resfriamento evaporativo

As limitações para obtenção de altos índices zootécnicos no Brasil decorrem da utilização de animais geneticamente desenvolvidos em climas mais amenos serem

alojados em ambientes de clima quente, porém, em condições ou conceitos provenientes daquele clima (NÄÄS; SILVA, 1998). Nos últimos 50 anos, percebe-se uma tendência de certos produtores em manter os animais em confinamento devido ao aumento do tamanho do rebanho e intensificação de suas atividades e/ou procurando melhorar o conforto térmico para animais de elevada exigência.

As instalações têm como um dos objetivos oferecer conforto ao animal, permitindo que ele expresse seu potencial para produção sem comprometer aspectos reprodutivos e de saúde geral dos animais. Devem ser construídas e planejadas com a finalidade principal de reduzir a ação dos elementos climáticos (insolação, temperatura, ventos, chuvas e umidade relativa do ar) que podem ter efeitos indesejáveis aos animais (NÄÄS et al., 2003).

A primeira condição de conforto térmico dentro de uma instalação é que o balanço térmico seja nulo, assim, o calor produzido pelo organismo animal somado ao calor ganho pelo ambiente seja igual ao calor perdido por radiação, convecção, condução e evaporação. A produção de calor bem como sua dissipação para o meio é um processo interativo, que depende diretamente da fisiologia animal e das condições psicrométricas do ar (ESMAY, 1982).

Devido às diferenças climáticas existentes entre os diferentes países, e até mesmo entre suas regiões, os sistemas e a tecnologia existente devem ser adaptados às condições locais. Segundo Silva (1999), não há um pacote que possa ser usado em todos os países, nem em todo o território nacional, pois deve ser considerada a raça dos animais, a fase de desenvolvimento, o nível tecnológico, o nível de produção, as características climáticas e de relevo das regiões, os sistemas e instalações já existentes, entre outros fatores. Outro ponto importante é a antecipação dos problemas, evitando-se que se recorra a soluções somente na época mais crítica do ano, porém, em algumas áreas, o controle é necessário durante todo o ano, embora o calor se acentue no verão.

A freqüente situação de altas temperaturas no interior das instalações geralmente é devida mais à má concepção e adequação do que propriamente à adversidade climática local, sendo necessária a utilização de sistemas naturais e artificiais, para o controle eficiente do ambiente.

Muitos métodos têm sido desenvolvidos para modificar o ambiente no qual o animal está inserido, visando minimizar o efeito do estresse térmico. A movimentação do ar, o umedecimento da superfície do animal, o resfriamento adiabático evaporativo (SRAE), o uso de sombra para minimizar o efeito da radiação solar, o dimensionamento dos espaços físicos, e a utilização de diferentes materiais de construção são alguns dos artifícios empregados para potencializar a dissipação de calor (WEST, 2003).

Os SRAE utilizam vapor d'água como elemento de refrigeração apresentando resultados satisfatórios na redução da temperatura interna da instalação, e assim, melhorando as condições de conforto. Pode ser obtido por vários processos, entre eles destacam-se: a nebulização, microaspersão e aspersão sobre os animais ou telhados (SILVA, 1999). 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.

Para Davis (2001) a dissipação de calor pelos meios não 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 a temperatura crítica, a adoção de um sistema de aspersão mostra-se como uma estratégia a fim de aumentar a quantidade de calor perdido por meio da pele.

2.9 Controle do acionamento do sistema de resfriamento

Avaliar o desempenho produtivo, fisiológico e comportamental do animal em dado ambiente e determinar se está em condição ótima ou estressante, é de fundamental importância para a eficiência econômica da exploração. O microclima interno do *freestall* pode ser alterado com a adoção de sistemas de condicionamento de ambiente que acionados adequadamente poderão proporcionar resfriamento mais eficiente.

O sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE) tem-se expandido rapidamente em climas quentes, devido à sua relativa simplicidade técnica e praticidade em termos de relação custo/benefício favorável, fatores que têm resultado na sua aceitação por muitos criadores (LIN et al. 1998). Nas condições de temperatura do ar elevada, o resfriamento evaporativo é a via mais efetiva de redução do estresse térmico.

Os princípios básicos para o bom funcionamento do SRAE são: tamanho de gota, movimento do ar com ventiladores e a intermitência do sistema (TURNER, 2001). Intermitência é o ciclo completo entre o acionamento do SRAE, seu funcionamento, período de pausa e novo acionamento. O tempo de intermitência do sistema de resfriamento sofre influência do conteúdo inicial de água no pêlo do animal, umidade relativa e carga térmica radiante sobre o animal.

Poucos trabalhos descrevendo os efeitos do resfriamento evaporativo têm sido conduzidos em regiões de umidade relativa elevada. Os sistemas de resfriamento em que os aspersores funcionam de maneira intermitente, ou seja, são acionados durante determinado intervalo e então desligados enquanto os ventiladores movimentam grandes volumes de ar ao redor dos animais, tem se mostrado bastante eficientes (TURNER, 2001).

Na literatura são encontrados diversos intervalos de intermitência de acionamento dos SRAE, e na maioria dos casos, foram constatadas respostas positivas com seu uso. Hillman et al. (2001) analisou diferentes intervalos de acionamento para a aspersão, concluindo que a temperatura da pele caiu rapidamente quando a intermitência foi 20 min e fluxo de ar igual a $2,2 \text{ m s}^{-1}$. Já Matarazzo (2004) avaliou diferentes intermitências do sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE) por aspersão em *freestall*, concluindo que a intermitência de 16 min resulta em melhores condições de conforto para vacas em lactação. Perissinotto (2003) na avaliação de sistemas de resfriamento (aspersão e nebulização), conjugados com a ventilação forçada, utilizou a intermitência do sistema de aspersão de 12 min, sendo que o sistema permaneceu ligado durante 60s, e desligado durante 11 min, e o sistema de nebulização foi regulado para funcionar com uma intermitência de 1 min, ficando ligado 20 s e desligado 40 s.

O acionamento do sistema de resfriamento geralmente se dá por meio de um sensor de temperatura ou de temperatura e umidade. Martello (2002) avaliou alguns recursos de climatização na produção de leite, na termorregulação dos animais e nos investimentos das instalações. O acionamento dos equipamentos de climatização se deu por meio de um sensor de temperatura e umidade, sendo os ventiladores acionados ininterruptamente quando a temperatura foi maior ou igual a 24°C e os nebulizadores acionados a partir de 26°C de temperatura e desligados quando a umidade relativa

atingiu 76%, mesmo quando a temperatura do ar esteve acima do estabelecido. Perissinotto (2003) na avaliação de sistemas de resfriamento (aspersão e nebulização), conjugados com a ventilação forçada, utilizou um termostato que acionou os sistemas quando a temperatura ambiente ultrapassou 24°C. Já Matarazzo (2004) na avaliação da intermitência de acionamento do sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE) por aspersão em *freestall*, utilizou um termóstato para acionamento do SRAE e dos ventiladores, sendo os equipamentos acionados toda vez que a temperatura no interior da instalação foi superior a 25°C.

Sendo assim observa-se que atualmente o acionamento do SRAE é baseado na temperatura e umidade relativa do ambiente.

2.10 Sistemas inteligentes como auxiliares na construção de cenários

O uso de técnicas especiais e ferramentas direcionadas para a tomada de decisão e ações mais precisas têm contribuído para o avanço e a velocidade das pesquisas em produção animal, uma vez que têm facilitado a aquisição e o tratamento de dados possibilitando análises mais apuradas. A Mineração de Dados e a lógica *fuzzy*, além de auxiliarem a tomada de decisão, podem ser utilizadas na determinação de estratégias apropriadas, dando suporte ao produtor no gerenciamento, implantação e controle dos processos da produção animal.

2.10.1 Mineração de Dados

Com a recente explosão da informação e a disponibilidade de armazenamento barato, tem sido possível coletar dados maciçamente durante as últimas décadas. O objetivo desta coleta intensiva de dados é o uso destas informações para ganhar vantagens competitivas, descobrindo padrões não conhecidos nos dados, os quais podem guiar o processo de decisão (SOUSA, 1998). Entretanto, a análise desses dados ainda é demorada, dispendiosa, pouco automatizada, e sujeita a erros, mal-entendidos e falta de acurácia, sendo que, os métodos tradicionais de análise de dados, como planilhas e consultas, não são apropriados para tais volumes de dados, pois podem criar relatórios informativos sobre os dados, mas não conseguem analisar o conteúdo destes

relatórios a fim de obter conhecimentos importantes (SOUZA, 2003).

Mineração de Dados é apenas uma das fases de um processo maior denominado descoberta de conhecimento em banco de dados (*KDD - Knowledge Discovery in Databases*). Segundo Fayyad et al. (1996) o processo KDD deve conter nas bases de dados características de validade, novidade, utilidade e assimilabilidade. A característica de validade se encontra na descoberta de padrões que devem ser válidos em novos dados com algum grau de certeza e probabilidade. A novidade refere-se aos padrões que se destacam por serem novos (pelo menos no contexto em análise). Os padrões devem ser úteis para a tomada de decisão e medidos por alguma função. Em relação à característica assimilável o objetivo é tornar os padrões assimiláveis ao conhecimento humano.

Para Berry e Linoff (1997) os principais objetivos da Mineração de Dados são descobrir relacionamentos entre dados e fornecer subsídios para que possa ser feita uma previsão de tendências futuras baseadas no passado.

Mineração de Dados se relaciona com a análise de dados e o uso de ferramentas computacionais (*softwares*) na busca de características, regras e regularidades em um grande conjunto de dados. É, também, uma área multidisciplinar que incorpora técnicas utilizadas em diversas áreas como banco de dados, técnicas de estatísticas, redes neurais, de aprendizado de máquinas, de reconhecimento de padrões e de visualização de dados.

Mineração de Dados, ou *data mining*, é o processo de análise de conjuntos de dados que tem por objetivo a descoberta de padrões interessantes e que possam representar informações úteis. Um padrão pode ser definido como sendo uma afirmação sobre uma distribuição probabilística. Estes padrões podem ser expressos principalmente na forma de regras, fórmulas e funções, entre outras (SOUZA, 2003). A utilização desta tecnologia permite avanços tecnológicos e descobertas científicas, além de garantir uma grande vantagem competitiva (GIMENES; SEIXAS, 2000).

As técnicas de Mineração de Dados são aplicadas em sistemas de descoberta de conhecimento em banco de dados com o objetivo de extrair informações estratégicas escondidas em grandes bancos de dados, por meio da pesquisa dessas informações e da determinação de padrões, classificações e associações entre elas (GOEBEL;

GRUENWALD, 1999). Toda esta informação pode ser usada para melhorar procedimentos, permitindo que se detecte tendências e características disfarçadas, e possa reagir rapidamente a um evento que ainda pode estar por vir.

Uma característica importante do processo de Mineração de Dados é que ele pode utilizar dados que foram coletados durante vários anos para transformá-los em conhecimento valioso. Quanto maior o banco de dados, mais apropriado e preciso tende a ser o conhecimento adquirido.

O usuário de um sistema de descoberta de conhecimento em banco de dados precisa ter um sólido entendimento da pesquisa em questão para ser capaz de selecionar corretamente os subconjuntos de dados e as classes de padrões mais interessantes (DIAS, 2002).

Embora os exemplos mais comuns se refiram a clientes, compras e vendas, as áreas de aplicação de MD são praticamente ilimitadas. Algumas das áreas de aplicação são a medicina, agronomia, economia, administração, geologia, marketing, detecção de fraudes, controle de processos e controle de qualidade, apólice de seguro e ciência e tecnologia. Os resultados obtidos com a Mineração de Dados podem ser usados no gerenciamento de informação, processamento de pedidos de informação, tomada de decisão, controle de processo e muitas outras aplicações.

Segundo Berry e Linoff (1997), as principais motivações para o desenvolvimento de novas técnicas, entre elas a Mineração de Dados, que permitem o ganho de competitividade dos negócios, são o aumento da produção de dados, o aumento de potência dos computadores, o aumento da pressão mercadológica, e a disponibilidade de novos *softwares* de análise.

Por se tratar de área de pesquisa recente, poucos são os trabalhos científicos já publicados voltados à aplicação da técnica de Mineração de Dados na agropecuária. Como exemplo podemos citar Yang et al. (2002), em trabalho de classificação de imagens de solos fertilizados com adubação química e orgânica, Pietersma et al. (2003) em trabalho de identificação de vacas leiteiras com curvas de lactação consideradas fora da média e que deveriam ser descartadas da análise, Kirchner et al. (2004) trabalhando com matrizes de suínos a fim de identificar as variáveis mais significativas para a classificação de reprodutoras e dar suporte à decisão de substituição, Kasahara

et al. (2005) visando a classificação de espécies em Biologia, Zhang et al. (2005) que modelou a produção de pastagens, e Vale et al. (2006), que conseguiu modelar a ocorrência de alta mortalidade por estresse calórico em frangos de corte por intermédio da Mineração de Dados meteorológicos e zootécnicos.

2.10.1.1 Processo de descoberta de conhecimento

Existem diferentes abordagens para a divisão em etapas do processo de descoberta de conhecimento. Weiss e Indurkha (1998) dividem o processo nas etapas de preparação dos dados, redução dos dados, definição dos experimentos e execução seguida da análise dos resultados. Fayyad et al. (1996) propõem uma abordagem em nove etapas, envolvendo conhecer o domínio da aplicação, obter o conjunto de dados, limpar e pré-processar os dados, reduzir o volume de dados, escolher a função de mineração, escolher o algoritmo, minerar os dados, interpretar os resultados e utilizar o conhecimento descoberto. Rezende et al. (2003) consideram uma abordagem que se divide nas etapas de identificação do problema, pré-processamento, extração de padrões, pós-processamento e utilização do conhecimento. O processo é iterativo, podendo ser executado diversas vezes, com diferentes configurações, pois nem sempre os melhores resultados são obtidos com uma única execução. É possível recomeçar desde o início do processo, selecionando melhor os dados, alterando algoritmos e configurações para encontrar o melhor resultado, ou simplesmente voltar a uma etapa anterior.

Como não se pode esperar a extração de conhecimento útil e compreensível simplesmente submetendo um conjunto de dados a uma “caixa preta”, a Mineração de Dados é um processo centrado na interação entre diferentes usuários, que geralmente são divididos em três classes (REZENDE et al., 2003): especialista do domínio (possui amplo conhecimento do domínio da aplicação e fornece apoio à execução do processo), analista (especialista no processo de Mineração de Dados e responsável por sua execução), e usuário final (utilizam o conhecimento extraído no processo de Mineração de Dados como apoio em tomadas de decisão).

Seguindo a abordagem proposta por Rezende et al. (2003) as etapas do processo de descoberta de conhecimento são:

2.10.1.1.1 Identificação do problema

A compreensão do domínio da aplicação é um pré-requisito para a extração de conhecimento útil dos dados. Na fase de identificação do problema é realizado um estudo do domínio da aplicação e são definidos os objetivos e metas a serem alcançados com o processo de Mineração de Dados. Além disso, o conhecimento sobre o domínio adquirido nessa fase pode fornecer subsídio para todas as etapas do processo de Mineração de Dados (HILDERMAN; HAMILTON, 2001). Também são selecionados os conjuntos de dados a serem utilizados na extração de conhecimento.

2.10.1.1.2 Pré-processamento

Antes de realizar a etapa de extração de padrões é realizado um tratamento dos dados, adequando o formato dos dados selecionados para o processo de extração de conhecimento, e verificando a ocorrência de problemas como erros de digitação e geração de dados incorretos ou inconsistentes. O tratamento dos dados pode ser realizado por diversas atividades, entre elas: extração e integração (obtenção e unificação desses dados, formando uma única fonte de dados), transformação (resumo, transformação de tipo e normalização de atributos contínuos), limpeza (tratamento de valores inválidos de atributos, de exemplos errôneos, de atributos incompletos, de conjuntos de exemplos não balanceados e remoção de ruídos) (BATISTA, 2003) e redução de dados (redução do número de exemplos, do número de atributos e do número de valores de um atributo) (WEISS; INDURKHYA, 1998).

Um dos cuidados que se deve ter durante o tratamento dos dados é garantir que as informações presentes nos dados originais continuem presentes nas amostras geradas, para que os modelos finais representem o comportamento dos dados originais.

2.10.1.1.3 Extração de padrões ou descoberta do conhecimento

Essa etapa visa atingir os objetivos definidos na identificação do problema. Compreende a escolha da tarefa de Mineração de Dados a ser empregada, a escolha do algoritmo e a extração dos padrões propriamente dita.

As possíveis tarefas da etapa de extração de padrões, escolhidas de acordo com

os objetivos do processo de Mineração de Dados, podem ser agrupadas em atividades preditivas e descritivas. A Mineração de Dados preditiva consiste na generalização de exemplos ou experiências passadas com respostas conhecidas em um modelo capaz de identificar a classe (atributo meta) de um novo exemplo. Os dois principais tipos de problemas de predição são a classificação e a regressão. Problemas de classificação consistem na predição de um valor categórico, e nos problemas de regressão o atributo a ser predito consiste em um valor contínuo.

A extração dos padrões consiste na configuração dos parâmetros e na aplicação dos algoritmos selecionados e pode ser feita pelo WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) que é uma ferramenta para Mineração de Dados desenvolvida pela Universidade de Waikato (Nova Zelândia), em 1999. WEKA é um *software* livre e pode ser facilmente encontrado para *download*. O pacote WEKA é formado por um conjunto de implementações de algoritmos de diversas técnicas de Mineração de Dados.

A escolha de um algoritmo indutor depende do tipo de problema que se pretende tratar. A própria solução do problema depende ainda da maneira que se vai modelar, sendo portanto uma tarefa que deve ser realizada caso a caso. Alguns exemplos de representação de padrões são: redes neurais artificiais, regras de associação, análise de agrupamento, regressão, análise discriminante, técnicas de visualização, e árvores de decisão.

As árvores de decisão são meios de representar resultados de Mineração de Dados na forma de árvore, e que lembram um gráfico organizacional horizontal. Segundo Berry e Linoff (1997) a árvore de decisão é uma técnica de Mineração de Dados utilizada para classificar e gerar padrões de dados. Durante a fase de análise exploratória de dados em um projeto de Mineração de Dados as árvores de decisão são ferramentas úteis para selecionar as variáveis que são realmente úteis para prever o valor de uma variável resposta. Nesta técnica consegue-se saber os itens que mais influenciam uma determinada variável (AGRAWAL et al., 1998).

As árvores de decisão podem ser geradas por diferentes algoritmos, incluindo o J48, que é o algoritmo mais popular do WEKA. O J48 constrói a árvore de decisão posicionando o atributo mais significativo, ou seja, o que mais influencia a variável

resposta, na raiz (início) da árvore. Na seqüência da construção, o próximo nó da árvore será o segundo atributo mais significativo, e assim sucessivamente até gerar o nó folha (final da árvore).

O conhecimento gerado no formato de árvore pode ser traduzido em regras, que representam a classificação dos dados analisados, tornando mais fácil a análise e compreensão dos resultados. As n regras originalmente definidas (onde n representa o número de nós folha) são generalizadas, sendo algumas delas simplificadas ou até mesmo eliminadas. Como resultado final, alcança-se um conjunto ordenado de regras. Uma das propostas da Mineração de Dados é ganhar conhecimento no domínio do problema. Isso pode ser obtido reduzindo a grande massa de regras em uma árvore de decisão em uma pequena e mais compreensível coleção. Cada caminho possível da árvore corresponde a uma regra do tipo “Se ... então ...”.

As árvores de decisão continuam crescendo até que novas divisões possam ser feitas. Eliminar alguns nós aumenta a taxa de erro para o conjunto de treinamento, porém, isso não significa que a árvore completa faria um melhor trabalho para classificar novos registros. Uma árvore completa pode chegar ao super treinamento, ou *overfitting*. A solução é eliminar registros que façam a união de grupos muito pequenos por um processo chamado de “podagem”.

Há duas maneiras de fazer a “podagem”. Uma seria durante a construção da árvore, e outra após a sua construção. Na “pré-poda” ocorre uma parada nas divisões dos nós mais cedo, e aquele nó se torna uma folha. É utilizado algum critério de parada como algum limiar, ou algum teste estatístico. Na “pós-poda” são removidos “ramos da árvore” já completa. O nó então se transforma em folha e recebe a denominação da classe de maior representatividade entre os objetos nele presentes.

Como exemplo de pesquisas que utilizaram a Mineração de Dados podemos citar Yang et al. (2002), que em trabalho de classificação de imagens de solos fertilizados com adubação química e orgânica, obtiveram índice de acerto de 91 a 99% com a utilização da técnica de árvore de decisão. Pietersma et al. (2003) utilizaram a árvore de decisão para identificar vacas leiteiras com curvas de lactação consideradas fora da média e que deveriam ser descartadas da análise, com acerto em 92% dos casos. Kirchner et al. (2004) aplicaram a técnica da árvore de decisão em banco de dados de

matrizes de suínos a fim de identificar as variáveis mais significativas para a classificação de reprodutoras e dar suporte à decisão de substituição, concluindo que a técnica pode ser utilizada para identificar relacionamento entre variáveis e também a geração de padrões de produção a fim de classificar as reprodutoras. Kasahara et al. (2005) testaram alguns algoritmos que usam a metodologia de árvore de decisão disponível no WEKA, visando mostrar as funcionalidades da Mineração de Dados aplicada à classificação de espécies em Biologia e testar e encontrar o algoritmo que pudesse automatizar a classificação taxonômica de espécies por meio de seqüências de DNA. Zhang et al. (2005) utilizou a árvore de decisão para a modelagem da produção de pastagens com um acerto de 90% dos casos. Já Vale et al. (2006), conseguiu modelar a ocorrência de alta mortalidade por estresse calórico em frangos de corte por intermédio da Mineração de Dados meteorológicos e zootécnicos para a construção de árvore de decisão.

2.10.1.1.4 Pós-processamento ou análise das relações descobertas

Na etapa de pós-processamento, o conhecimento extraído pode ser simplificado, avaliado, visualizado ou simplesmente documentado para o usuário final. A análise desse conhecimento poderá determinar se o processo de extração deve ser repetido ou não. Caso o conhecimento extraído não seja de interesse para o usuário ou não esteja de acordo com os objetivos pré-estabelecidos, pode ser necessário refazer etapas específicas ou refazer todo o processo, ajustando-se os parâmetros utilizados na extração de padrões ou realizando-se melhorias na seleção de dados.

Assim, a etapa de pós-processamento consiste de métodos e procedimentos que, na maioria das vezes, utilizam medidas de avaliação para processar o conhecimento. Esses métodos e procedimentos podem ser agrupados nas categorias apresentadas a seguir (BRUHA; FAMIL, 2000):

- 1 – Filtragem: realizar mecanismos de poda, para o caso de árvores de decisão, ou de truncagem, no caso de conjuntos de regras de decisão;
- 2 – Interpretação e explanação: documentar, visualizar ou modificar o conhecimento de forma a torná-lo compreensível para o usuário;
- 3 – Avaliação: avaliar o conhecimento extraído a fim de verificar se o mesmo cumpre os

objetivos do processo de Mineração de Dados;

4 – Integração do conhecimento: incorporar novo conhecimento em uma base de conhecimento já existente.

Caso seja verificado por meio das atividades de pós-processamento que o conhecimento cumpre os objetivos do processo de Mineração de Dados, pode ser realizada a última fase desse processo, ou seja, a utilização do conhecimento.

2.10.1.1.5 Utilização do conhecimento

Essa fase sucede o ciclo principal do processo de Mineração de Dados. O conhecimento extraído, depois de ser avaliado e validado na etapa de pós-processamento, é consolidado na fase de utilização do conhecimento, podendo ser incorporado a um sistema inteligente, utilizado diretamente pelo usuário final como apoio em algum processo de tomada de decisão ou, simplesmente, relatado às pessoas interessadas.

2.10.1.1.6 Avaliação (mensuração) dos resultados

Só após uma avaliação criteriosa é possível afirmar que as causas do problema foram sanadas ou o objetivo alcançado. Contudo, existem aspectos importantes que devem ser considerados quando se aplica a Mineração de Dados a problemas reais, como a qualidade e a confiança do conhecimento extraído durante a etapa de pós-processamento. Esses aspectos são decisivos para o sucesso do processo, pois muitos dos problemas do mundo real que se beneficiam da Mineração de Dados envolvem atividades de risco. A clareza e a facilidade de interpretação do conhecimento também são importantes.

Se, após a avaliação dos resultados, novos objetivos precisarem ser definidos, ou as soluções propostas não forem eficientes, deve-se voltar à primeira fase do processo iniciando, assim, um processo iterativo de trabalho, como é de praxe na aplicação do método científico.

2.10.2 Lógica *Fuzzy*

Aristóteles, filósofo grego (384 - 322 a.C.), foi o fundador da ciência da lógica, e estabeleceu um conjunto de regras rígidas para que conclusões pudessem ser aceitas como logicamente válidas. O emprego da lógica de Aristóteles levava a uma linha de raciocínio lógico baseado em premissas e conclusões. Desde então, a lógica Ocidental, assim chamada, tem sido binária, isto é, uma declaração é falsa ou verdadeira, não podendo ser ao mesmo tempo parcialmente verdadeira e parcialmente falsa.

O conceito de dualidade, estabelecendo que algo pode e deve coexistir com o seu oposto, faz a lógica *fuzzy* parecer natural, até mesmo inevitável. Muitas das experiências humanas não podem ser classificadas simplesmente como verdadeiras ou falsas, sim ou não, branco ou preto. Entre a certeza de ser e a certeza de não ser, existem infinitos graus de incerteza. Esta imperfeição intrínseca à informação representada numa linguagem natural tem sido tratada matematicamente com o uso da teoria das probabilidades.

Contudo, a lógica *fuzzy*, com base na teoria dos conjuntos nebulosos (*fuzzy set*), tem se mostrado mais adequada para tratar imperfeições da informação do que a teoria das probabilidades. De forma mais objetiva e preliminar, podemos definir lógica *fuzzy* como sendo uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em uma linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação computacional. A extração (representação) de informações vagas se dá através do uso de conjuntos nebulosos. Enquanto as fronteiras dos conjuntos clássicos são bem definidas, as dos conjuntos *fuzzy* apresentam uma nebulosidade, a qual tenta se aproximar das impressões do modo de raciocínio humano (ZANON et al., 2005).

O conceito de conjunto *fuzzy* foi introduzido, em 1965, por Lotfi A. Zadeh (Universidade da Califórnia, Berkeley), como uma teoria matemática aplicada a conceitos vagos. Conforme Almeida e Evsukoff (2003), o termo *fuzzy* ao ser traduzido da língua inglesa pode ter vários significados conforme o contexto de interesse, todavia, o conceito básico deste adjetivo passa sempre pelo vago, indistinto, incerto. Na área da engenharia, embora ainda não seja uma unanimidade, a tradução para o português mais utilizada é nebuloso e difuso.

A modelagem e o controle *fuzzy* consideram o modo como a falta de exatidão e a incerteza são descritas e, fazendo isso, tornam-se suficientemente poderosas para manipular de maneira conveniente o conhecimento. A sua utilização em sistemas de controle de processos em tempo real em computadores é das mais convenientes, dado que, geralmente não envolvem problema computacional sério. Controle *fuzzy* trata do relacionamento entre entradas e saídas, agregando vários parâmetros de processo e de controle.

Para que a lógica humana seja implementada em soluções de engenharia é preciso que se construa um modelo matemático. A lógica *fuzzy* tem sido desenvolvida como um modelo matemático que permite a representação das decisões humanas e processos de avaliação na forma de algoritmo. Nos anos 90, com o uso intensivo dos novos recursos computacionais foi possível a criação de técnicas de modelagem e o desenvolvimento de sistemas especialistas inteligentes capazes de executar tarefas ou resolver problemas a partir de uma base de conhecimento. Foi então que surgiram métodos como a lógica *fuzzy*, *bootstrap* e *neural networks*. Estes fazem parte da nova era da inteligência artificial.

2.10.2.1 Variável linguística

Um conceito relacionado com conjuntos nebulosos é o de variável lingüística e consiste em aproximar a decisão computacional da decisão humana, tornando as máquinas mais capacitadas a seu trabalho. Uma variável linguística pode assumir um valor linguístico dentre vários outros em um conjunto de termos linguísticos. Isto é feito de forma que a decisão de uma máquina não se resume apenas a um "sim" ou um "não", mas também tenha decisões "abstratas", do tipo "um pouco mais", "talvez sim", e outras tantas variáveis que representem as decisões humanas. Portanto, os sistemas *fuzzy* se caracterizam pela incerteza e imprecisão na extração de informações vagas, trabalhando na área cinza que existe entre o "sim" e o "não".

Uma variável lingüística *fuzzy* tem o valor expresso qualitativamente por um termo lingüístico (que fornece um conceito à variável) e quantitativamente por uma função de pertinência.

Existem várias formas de representar as funções *fuzzy*, sendo a mais comum a

triangular, embora curvas trapezoidais, além de outras formas, também serem usadas, mas a forma geralmente é menos importante do que o número de curvas. De três a sete curvas são geralmente apropriadas para cobrir a faixa requerida de valores de entrada (o chamado "universo do discurso").

2.10.2.2 Passos para a elaboração de um sistema de lógica *fuzzy*

A estrutura de um sistema *fuzzy* é composta por um mecanismo de inferência e principalmente pela base de conhecimento, que rege o comportamento das variáveis envolvidas e a base de regras. A base de conhecimento deve ser obtida através da aquisição de conhecimento, feita a partir de uma base humana de conhecimento (o especialista).

Os três passos para a elaboração de um sistema de lógica *fuzzy* são: *fuzzificação*, inferência *fuzzy* e *defuzzificação*, descritas a seguir (AMENDOLA et al., 2004):

- **Fuzzificação.** Através de termos vagos e imprecisos a operação das atividades humanas requer uma aproximação de dados e informações sensoriais, fazendo com que o cérebro humano codifique tais imprecisões naturais através de números e conjuntos *fuzzy*. Na *fuzzificação* (*fuzzification*) variáveis reais são transformadas em variáveis lingüísticas por funções de pertinência (*membership*). Como por exemplo, a variável temperatura é ligada a termos lingüísticos (baixa, média, alta). As funções de pertinência, ou conjuntos *fuzzy*, definem o grau de pertinência de cada termo. Assim, um valor de temperatura recebe um grau de pertinência que vai de 0 a 1 para cada termo. As formas trapezoidais e triangulares são as mais utilizadas na representação das funções de pertinência.

- **Inferência *fuzzy*.** Na inferência *fuzzy* cria-se uma base de regras que relaciona as variáveis lingüísticas independentes com a dependente. O modo mais comum de armazenar informações em uma base de conhecimento *fuzzy*, conforme Almeida e Evsukoff (2003), é a representação por meio de regras de produção *fuzzy*. Este formato de regra torna fácil a manutenção e a atualização da base de conhecimento, além de ser fácil de examinar e entender. A regra *fuzzy* é uma unidade capaz de capturar algum conhecimento específico, e um conjunto de regras é capaz de descrever um sistema em

suas várias possibilidades. Cada regra *fuzzy*, da mesma forma que uma afirmação clássica, é composta por uma parte antecedente (a parte Se) e uma parte conseqüente (a parte Então), resultando em uma estrutura do tipo: “SE <condicional> ENTÃO <consequente>”.

A parte SE da regra descreve a situação, para a qual ela é designada e a parte ENTÃO descreve a ação do sistema *fuzzy* nesta situação.

Os antecedentes descrevem uma condição (premissas), enquanto a parte conseqüente descreve uma conclusão ou uma ação que pode ser esboçada quando as premissas se verificam.

- **Defuzzificação.** É natural do ser humano trabalhar com características incertas, mas em muitas situações existe a necessidade de um valor numérico que represente o valor de referência. Logo, torna-se necessário um processo que converta o valor *fuzzy*, resultante da saída de inferência, para um número real, tal como uma ação bem definida, processo esse denominado de *defuzzificação*. Na *defuzzificação* os valores da *fuzzificação* e da inferência *fuzzy* são transformados em valores objetivos, como "positivo" ou "negativo". A *defuzzificação* é um procedimento que permite interpretar a distribuição de possibilidades da saída de um modelo linguístico *fuzzy* de forma quantitativa, ou seja, ela fornece um valor numérico representativo que captura o significado essencial dessa distribuição de possibilidades. Existem muitas técnicas de *defuzzificação*, e entre as mais utilizadas segundo Ortega (2001) estão o método dos máximos, centro de área, e método das alturas.

2.10.2.3 O modelo de inferência *fuzzy* de Mamdani

O processamento das “situações”, os indicadores de disparos das regras e os operadores utilizados em um sistema de conhecimento *fuzzy* são definidos, de acordo com a semântica, pelo mecanismo de inferência. Desta forma, então, é executado o processamento de conhecimento.

Modelos de inferência *fuzzy* específicos são utilizados conforme as propriedades sintáticas definidas, ou seja, o modelo de processamento definido para o sistema de conhecimento *fuzzy* depende basicamente da forma de armazenamento de informações escolhidas.

Mamdani (1976) propôs um método de inferência que foi por muitos anos um padrão para a utilização dos conceitos da lógica *fuzzy* em processamento de conhecimento. As regras de produção em um modelo de Mamdani possuem relações *fuzzy* tanto em suas “*situações*” como em suas “*ações*”.

O modelo de Mamdani possui módulos de interface que transformam as variáveis de entrada baseadas em grandezas numéricas, em conjuntos *fuzzy* equivalentes e, posteriormente, as variáveis *fuzzy* geradas em variáveis numéricas proporcionais, adequadas para os sistemas de atuação existentes.

Na Figura 3 é apresentado um diagrama do modelo de inferência *fuzzy* de Mamdani utilizado num sistema de processamento de conhecimento *fuzzy*.

Figura 3 - Configuração básica da estrutura de modelo de inferência *fuzzy* de Mamdani (NOBRE, 2000)

No diagrama apresentado na Figura 3, o módulo máquina de inferência recebe os valores *fuzzy* resultantes do módulo de interface de entrada, processa as regras existentes na base de conhecimento e gera, a partir da composição de todas as regras disparadas, um conjunto *fuzzy* de saída para o módulo de interface correspondente, e este finalmente converte o conjunto *fuzzy* resultante em valores escalares. Uma regra é disparada quando o processamento da “*situação*” para entradas atuais gera graus de pertinência maiores que zero.

No modelo de inferência *fuzzy* de Mamdani, a regra semântica tradicionalmente usada para o processamento de inferência é denominada de Máx-Min, ou seja, por meio de operadores de máximo e mínimo, respectivamente.

2.10.2.4 Aplicações

A lógica *fuzzy* tem encontrado grandes aplicações nas seguintes áreas: sistemas especialistas; computação com palavras; raciocínio aproximado; linguagem natural; controle de processos; robótica; modelamento de sistemas parcialmente abertos; reconhecimento de padrões e processamento de imagens; processos de tomada de decisão (*decision making*), medicina, ecologia, banco de dados *fuzzy*, *neurofuzzy* e aplicações em sistemas operacionais.

A lógica *fuzzy* pode ser utilizada para a implementação de controladores nebulosos, aplicados nos mais variados tipos de processos. A utilização de regras nebulosas e variáveis linguísticas confere ao sistema de controle várias vantagens, incluindo: simplificação do modelo do processo; melhor tratamento das imprecisões inerentes aos sensores utilizados; facilidade na especificação das regras de controle, em linguagem próxima à natural; satisfação de múltiplos objetivos de controle; e facilidade de incorporação do conhecimento de especialistas humanos. Além disso, requer poucas regras, valores e decisões; mais variáveis observáveis podem ser valoradas; decisões mais próximas do pensamento humano; simplifica a solução de problemas; proporciona um rápido protótipo dos sistemas; simplifica a aquisição da base do conhecimento; e é baseada em dispositivos simples e de baixo custo (ZADEH, 1965).

Estimulados pelo desenvolvimento e pelas enormes possibilidades práticas de aplicações que se apresentaram os avanços foram rápidos, culminando com a criação da Sociedade Internacional de Sistemas *Fuzzy*, em 1984, constituída, principalmente, por pesquisadores dos países mais avançados tecnologicamente.

O crescimento de estudos sobre sistemas *fuzzy* e controle de processos é devido não só pela sua grande aplicação prática, mas principalmente por ser baseada em dispositivos simples e de baixo custo, além de ser muito facilmente atualizado por via de implementação de novas regras para executarem mais tarefas de maneira eficaz.

Pode-se encontrar na literatura diversos trabalhos nacionais que utilizaram a lógica *fuzzy* como ferramenta de suporte à decisão na agropecuária. Firk et al. (2003) relataram melhoria na previsão de inseminação em vacas leiteiras, utilizando a base de dados de identificação de cio, quando comparado com métodos convencionais. Cveticanin (2003) apresenta uma metodologia de pesagem eletrônica para gado, em

que um algoritmo foi desenvolvido utilizando a lógica *fuzzy*. Para o dimensionamento de dietas para gado em condições de semi-estabulação, Cadenas et al. (2004) estipularam um cenário, usando a programação linear *fuzzy*, associada a um processo de tomada de decisão. Na suinocultura, Pandorfi et al. (2006), avaliaram com sucesso através da teoria dos conjuntos *fuzzy* e das redes neurais, diferentes sistemas de alojamento para matrizes gestantes, visando a caracterizar aspectos quantitativos e qualitativos do ambiente. Já Chiarini et al. (2006), utilizaram a lógica *fuzzy* para propor um modelo padrão de conforto térmico na criação de suínos. Na avicultura, Owada e Nääs (2006) utilizaram a lógica *fuzzy* para analisar a variação do bem-estar das aves em função dos dados de ambiência. Na bovinocultura, Santos e Nääs (2006) utilizaram a lógica *fuzzy* para simular a taxa de detecção de cio de vacas leiteiras criadas em confinamento total, quando expostas a diferentes condições de temperatura e UR, e Brunassi et al. (2006) conseguiram encontrar 100% de eficiência na detecção de estro em vacas leiteiras com um sistema baseado em lógica *fuzzy*.

Os índices de desempenho, a qualidade do produto final, do ambiente de criação e, mais atualmente, o bem-estar animal, são parâmetros avaliados qualitativamente e classificados por variáveis linguísticas. Dessa forma, a aplicação da teoria *fuzzy* vem sendo utilizada nas áreas de ambiência e produção animal (GATES et al., 1999; NAKAMURA et al., 2002; AMENDOLA et al., 2005a; OLIVEIRA et al., 2005) comprovando a eficácia do uso desta ferramenta nestes estudos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvimento basicamente em cinco fases. O ponto de partida foi a elaboração do conjunto de dados-alvo e organização dessa base de dados. A fase seguinte referiu-se ao desenvolvimento do algoritmo, seguido do processo de modelagem, de avaliação do processo de Mineração de Dados e, por fim, da aplicação da base de conhecimento. Essas fases serão descritas a seguir.

3.1 Elaboração do conjunto de dados-alvo.

Esta fase refere-se à obtenção, descrição, exploração e verificação inicial dos dados brutos. Os quatro passos para a criação de um conjunto de dados-alvo foram:

- Coleta inicial de dados;
- Descrição dos dados;
- Exploração dos dados;
- Verificação da qualidade dos dados.

Passo 1. Coleta inicial de dados

Compreendeu a coleta inicial dos dados listados no projeto, listagem das séries de dados adquiridas, métodos utilizados, e descrição da forma de extração dos dados.

a) Local da coleta de dados

O experimento foi conduzido em rebanho leiteiro de gado holandês. A obtenção dos dados fisiológicos dos animais e formação do banco de dados foi desenvolvido em dois ambientes distintos:

- Ambiente 1: Clima subtropical. O experimento foi realizado no município de São Pedro, SP. O período experimental compreendeu os meses de setembro a dezembro de 2003. O município de São Pedro encontra-se na latitude 22° 32' 55" Sul e longitude 47° 54' 50" Oeste estando à cerca de 580 m altitude. Tem um clima CWA da classificação Koppen, ou seja, quente e úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A temperatura máxima média anual é de 28,5°C e a temperatura mínima média é de 16,0°C, a pluviosidade anual média está próxima de 1200 mm e os ventos são

predominantes do sudeste.

- Ambiente 2: Clima mediterrâneo. O experimento foi realizado na cidade de Évora/Portugal. O período experimental compreendeu os meses de maio de 2005 a abril de 2006. A cidade de Évora encontra-se na latitude 38° 36', longitude 7° 54', estando à cerca de 30 m de altitude e situada na região Sul de Portugal, na região do Alentejo. A temperatura máxima média anual é de 31,7°C e a temperatura mínima média é de 2,5°C.

b) Animais

Tanto em São Pedro, como em Évora, foram utilizadas vacas Holandesas multíparas, em lactação, selecionadas de acordo com o peso e a produção de leite. Os animais foram divididos em lotes de acordo com a produção de leite e/ou período de lactação e então mantidos em abrigo do tipo *freestall*. As vacas permaneceram durante todo o dia com livre acesso às baias e demais áreas do abrigo, mas sem acesso à pastagem.

Com o objetivo de verificar se há variação no modelo devido a diferença no nível produtivo dos animais os dados foram analisados de acordo com três grupos de produção de leite, sendo: produção menor que 20 litros, de 20 a 25 litros e maior que 25 litros animal⁻¹ dia⁻¹.

c) Instalações

A Tabela 1 apresenta as características e a Figura 4 mostra a vista externa das instalações utilizadas no estudo.

Tabela 1 - Características das instalações utilizadas no estudo

Características	Local	
	São Pedro	Évora
Comprimento (m)	80	60
Largura (m)	28	20
Altura na parte central (m)	9	9
Altura nas laterais (m)	3,5	3,5
Capacidade (número de animais)	200	100

Figura 4 - Vista externa da instalação utilizada no ambiente 1 (São Pedro) (a) e no ambiente 2 (Évora) (b)

A instalação utilizada no ambiente 1 (clima subtropical) possuía orientação Leste-Oeste, o telhado era coberto com telha de barro e o piso de concreto. Possuía dois lotes divididos por um corredor central de 2,90 m de largura. A cama de descanso dos animais possuía 1,10 m de largura e 2,12 m de comprimento e estavam localizadas aproximadamente no centro do lote, sendo o número total de camas por lote de 64, divididas em dois blocos de 32, dispostos frente a frente.

No ambiente 2 (clima mediterrâneo) a instalação utilizada também possuía orientação Leste-Oeste e piso de concreto, porém, o telhado era coberto com telha metálica. Possuía dois lotes divididos por um corredor central de 2,90 m de largura. Cada lote possuía 30 camas de descanso com 1,10 m de largura e 2,12 m de comprimento, localizadas na lateral do lote.

d) Sistema de resfriamento e ventilação

Na instalação no município de São Pedro foram utilizados ventiladores espaçados a cada 11 m, equipados com motor de 1/2 CV, vazão de 300 m³, 495 RPM, instalados a 2,5 m de altura e com capacidade de produzir movimentação de ar de até 2,5 m s⁻¹ na altura do dorso dos animais. O sistema de aspersão foi instalado logo abaixo dos ventiladores, sobre o cocho de alimentação dos animais, sendo constituído por cano PVC, com espaçamento entre bicos de 1 m e, assim como os ventiladores, tiveram o funcionamento controlado por um termostato. A intermitência do sistema foi de 12 min., sendo que o sistema permaneceu ligado durante 60 s, e desligado durante 11 min, de

acordo com as recomendações de Perissinotto et al. (2003). O sistema de aspersão foi equipado com bicos com vazão de 30 L h^{-1} por bico, e atuou resfriando os animais, por meio do favorecimento da perda de calor para a água, visto que os animais tiveram a superfície da pele molhada.

Em Évora a instalação utilizada não possuía os equipamentos para resfriamento e de ventilação.

e) Variáveis climáticas avaliadas

Foi formado um banco de dados com as variáveis meteorológicas temperatura e umidade relativa do ar, coletadas no interior e no exterior das instalações nos dois locais de estudo. As leituras foram realizadas a cada 30 minutos ao longo das 24 horas.

Em São Pedro utilizou-se sistemas de aquisição de dados HOB0[®]. Para a coleta dos dados internos, fixou-se a mini-estação meteorológica no centro geométrico da instalação, a aproximadamente 3 m de altura, e na coleta dos dados externos, utilizou-se de um abrigo meteorológico de 1,50 m de altura, instalado em uma área gramada próxima ao abrigo. Em Évora, para a análise física do ambiente interior e exterior da instalação utilizou-se estações meteorológicas da *Campbell Scientific*[®]. Para a coleta dos dados internos, a estação foi instalada no corredor central, no centro geométrico da instalação, e na coleta dos dados externos em uma área gramada próxima à instalação.

f) Parâmetros fisiológicos

Foi formado um banco de dados com os dados fisiológicos obtidos em resposta aos dados ambientais para que se pudesse desenvolver um algoritmo de controle do sistema de resfriamento adiabático evaporativo pela resposta fisiológica dos animais ao ambiente.

Os dados fisiológicos coletados foram temperatura retal e frequência respiratória. Nos dois locais de estudo, a temperatura retal foi obtida por um termômetro clínico digital, inserido no reto (Figura 5), e a frequência respiratória pela contagem dos movimentos da região do flanco, durante 15 s.

Figura 5 - Vista da coleta da temperatura retal de um dos animais selecionados para a coleta dos dados fisiológicos

Passo 2. Descrição dos dados

A segunda etapa da criação de um conjunto de dados-alvo foi a descrição dos dados adquiridos. Foram verificados os valores dos atributos, a disponibilidade, escala de valor, correlações e computada a análise estatística básica (média, máximo, mínimo, e variação).

Passo 3. Exploração dos dados

O passo seguinte foi a descrição dos resultados da exploração dos dados, com análise detalhada das propriedades dos atributos interessantes, avaliação das informações da descrição dos dados, a hipótese inicial e seu impacto no restante do projeto.

Nesta etapa foi feito, também, o refino dos relatórios da descrição dos dados para que estes fossem transformados quando necessário e preparados para análise adicional.

Passo 4. Verificação da qualidade dos dados

A última etapa da criação de um conjunto de dados-alvo foi a verificação da qualidade dos dados, com exame e listagem dos resultados da verificação da qualidade

dos dados, ou seja, se estão completos, corretos, com valores faltantes, verificação dos desvios, etc. Foram, também listadas as soluções possíveis caso problemas de qualidade fossem verificados.

3.1.1 Organização dos dados

A fase da organização dos dados para modelagem cobriu todas as atividades para construir a série de dados final, que irão alimentar o modelo, a partir dos dados iniciais. As tarefas incluíram: seleção, limpeza, construção, e integração dos dados, que serão posteriormente descritas no item modelagem.

3.2 Desenvolvimento do algoritmo

No processo inicial de análise dos dados foi utilizada a técnica de Mineração de Dados com o objetivo de formar uma árvore de decisão para a indução de regras. Para isso foi utilizado o programa computacional Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA[®]), versão 3-4, que executou tarefa de classificação, utilizando o algoritmo J48 em validação cruzada (*cross validation*) para a construção da árvore de decisão.

Os resultados obtidos foram posteriormente utilizados na aplicação da lógica *fuzzy*, onde foi utilizado o *software Fuzzy Logic Toolbox* do MATLAB[®] 6.1.

3.2.1 Mineração de Dados

O processo de Mineração de Dados foi dividido em fases, restringindo um conjunto de ações definidas para cada uma delas, desencadeadas de forma cíclica, de acordo com a metodologia CRISP-DM (CHAPMAN et al., 2000). Após a etapa de elaboração do conjunto de dados-alvo e organização dessa base de dados, as etapas do processo de descoberta do conhecimento foram as seguintes:

- Definição do problema ou do objetivo do trabalho;
- Preparação de dados;
- Modelagem;
- Avaliação;

- Aplicação da base de conhecimento.

3.2.1.1 Definição do problema ou do objetivo do trabalho.

Os quatro passos para a definição do problema ou do objetivo do trabalho foram:

- Determinação dos objetivos e das exigências do trabalho;
- Avaliação das exigências e das perspectivas do trabalho;
- Determinação dos objetivos da Mineração de Dados;
- Determinação do plano de desenvolvimento do trabalho.

Passo 1. Determinação dos objetivos e das exigências do trabalho

Foi realizado um levantamento dos problemas relacionados com os sistemas de climatização de instalações para bovinos leiteiros, visando a definição dos objetivos e das exigências do trabalho.

Foram identificados os setores da cadeia produtiva do leite que poderiam ser impactados pelos resultados do trabalho, e identificadas as necessidades e expectativas dos produtores de leite. Além disso, foi feito um levantamento de informações sobre a situação da cadeia produtiva do leite e especificados os benefícios previstos com a utilização da Mineração de Dados.

Passo 2. Avaliação das exigências e das perspectivas do trabalho

A avaliação das exigências e das perspectivas do trabalho iniciou-se com um inventário dos recursos disponíveis para o trabalho, incluindo pessoal de apoio, dados necessários e disponíveis, e recursos computacionais. Para complementar foi estipulado um cronograma de execução, com prazo de conclusão, e feita uma listagem com as exigências com relação à qualidade dos dados, para a compreensão e descrição do modelo.

Passo 3. Determinação dos objetivos da Mineração de Dados

Foi realizada com a descrição dos resultados pretendidos com o trabalho para que fossem atendidos os objetivos do setor produtivo. Nesta etapa foi especificada a

função ou tarefa de Mineração de Dados a ser utilizada, que no caso deste projeto foi a tarefa de análise de classificação.

Passo 4. Determinação do plano de desenvolvimento do trabalho

Foi elaborado um plano de desenvolvimento para alcançar os objetivos da Mineração de Dados, e desse modo alcançar os objetivos do setor produtivo de leite, com especificação das etapas a serem executadas durante todo o projeto, incluindo a seleção inicial das ferramentas e das técnicas, a duração e os recursos requeridos.

3.2.1.2 Preparação de dados

A preparação dos dados foi feita de acordo com os seguintes passos:

- Seleção de dados;
- Limpeza dos dados;
- Transformação de dados;
- Integração dos dados.

Passo 1. Seleção de dados

Nesta etapa do projeto determinou-se os dados que seriam utilizados para a análise. Os critérios incluíram a relevância aos objetivos da Mineração de Dados. Sendo assim, decidiu-se incluir na análise os dados climáticos temperatura e a umidade relativa do ar coletados no interior da instalação, os dados fisiológicos temperatura retal e frequência respiratória, e também o índice de temperatura e umidade. Decidiu-se excluir da análise os dados climáticos coletados no exterior da instalação, por terem influências de outros fatores não abrangidos neste modelo.

Com o objetivo de verificar se há variação no modelo devido a diferença no nível produtivo dos animais os dados foram analisados de duas maneiras: uma sem a separação por produção de leite dos animais, e outra com a separação por produção dos animais, de acordo com três grupos de produção de leite (produção menor que 20 litros, de 20 a 25 litros e maior que 25 litros animal⁻¹ dia⁻¹).

Passo 2. Limpeza dos dados

Após a seleção dos dados que foram utilizados na análise o passo seguinte foi a limpeza desses dados, visando a elevação da qualidade para o nível requerido pelas técnicas selecionadas de análise, antes de fornecê-los como entrada para o algoritmo de aprendizado. Foi feita através de exclusão da análise das linhas (exemplos) com dados incorretos ou inconsistentes (valores muito fora do normal) oriundos de problemas gerados no processo de coleta de dados, tais como erros de digitação ou de leitura de dados pelos sensores. Eliminou-se também linhas com valores faltantes, que incluíram os valores que simplesmente não estavam presentes no conjunto selecionado, fato ocorrido devido a erros ou porque a informação não estava disponível no momento do levantamento dos dados.

Passo 3. Transformação de dados

Nesta etapa foi feita a transformação dos valores numéricos da temperatura retal (TR) e da frequência respiratória (FR) em escalas simbólicas, que foram posteriormente relacionadas para a caracterização linguística da sensação de conforto térmico dos animais. Segundo a recomendação de diversos trabalhos da literatura (MCDOWELL et al., 1954; KOLB, 1987; IGONO e JOHNSON, 1990; STOBER, 1993; MARTELLO, 2002; PERISSINOTTO, 2003; MATARAZZO, 2004) os dados de temperatura retal foram divididos da seguinte forma:

- $TR \leq 38,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ = conforto alto;
- $38,8 \text{ }^{\circ}\text{C} > TR \leq 39,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ = conforto médio;
- $TR > 39,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ = conforto baixo.

Já para a frequência respiratória, segundo a literatura (BERMAN et al., 1985; BACCARI JÚNIOR et al., 1995; HAHN et al., 1997; STOWELL, 2000; NÄÄS e ARCARO JÚNIOR, 2001; MARTELLO, 2002; PERISSINOTTO, 2003; MATARAZZO, 2004, MARTELLO, 2006), os dados foram considerados da seguinte forma:

- $FR \leq 56 \text{ mov min}^{-1}$ = conforto alto;
- $56 \text{ mov min}^{-1} > FR \leq 64 \text{ mov min}^{-1}$ = conforto médio;
- $FR > 64 \text{ mov min}^{-1}$ = conforto baixo.

De acordo com a relação entre os limites da TR e da FR listados acima foi feita a caracterização linguística da sensação de conforto dos animais para a entrada no modelo em: muito bom, bom, regular e ruim. As classificações são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização linguística da sensação de conforto térmico como função da temperatura retal (°C) e da frequência respiratória (mov min⁻¹)

Temperatura retal (°C)	Frequência respiratória (mov.min ⁻¹)		
	Conforto alto (≤ 56)	Conforto médio (56–64)	Conforto baixo (> 64)
Conforto alto (≤ 38,8)	Muito bom	Bom	Regular
Conforto médio (38,8-39,2)	Bom	Regular	Ruim
Conforto baixo (> 39,2)	Regular	Ruim	Ruim

Passo 4. Integração dos dados

Teve como objetivo a combinação das informações dos registros de temperatura e umidade relativa do ar para criar os registros do Índice de Temperatura e Umidade (ITU), que foi calculado de acordo com a equação desenvolvida originalmente por Thom (1959), que está descrita na eq. (1) ($ITU = Tbs + 0,36 Tpo + 41,2$, em que: Tbs - temperatura de bulbo seco, °C; Tpo - temperatura de ponto de orvalho, °C).

3.2.1.3 Modelagem

Nesta fase do processo de descoberta do conhecimento as várias técnicas de modelagem foram selecionadas e aplicadas. De acordo com as exigências específicas da técnica selecionada fez-se necessário frequentemente voltar à fase de preparação de dados. Os passos do processo de modelagem foram os seguintes:

- Seleção da técnica de modelagem;
- Teste geral do projeto;
- Configuração do modelo;
- Avaliação do modelo.

Passo 1. Seleção da técnica de modelagem

Como primeira etapa em modelagem, selecionou-se a técnica de modelagem a ser usada. Foi utilizada a descoberta de conhecimento supervisionada onde a modelagem matemática foi caracterizada pela presença de uma única variável objetivo (*target field*) ou classificador, cujo valor foi predito pelos atributos da base de dados (DIAS, 2002). O objetivo dessa técnica de modelagem é explicar o valor de um determinado campo em termos de outros campos (Figura 6).

Figura 6 - Esquema de ação da descoberta de conhecimento supervisionada

A função ou tarefa de Mineração de Dados utilizada no presente trabalho foi a análise de classificação (METHA, et al., 1996; MITCHELL, 1997; EBECKEN, 1998; KUFRIN, 1997; SOUSA, 1998; HILDERMAN e HAMILTON, 2001; CENTEIO, 2002; KASAHARA et al., 2005; LIMA, 2005), por ser uma tarefa preditiva, ou seja, identifica padrões em dados históricos, estuda o relacionamento entre itens de dados que ocorrem com uma certa frequência, e analisa o comportamento conjunto de duas ou mais variáveis.

Os dados foram apresentados em forma de matriz, onde nas colunas tem-se as variáveis (campos) e nas linhas as observações (registros). O objetivo foi analisar as relações entre as colunas (variáveis) com o classificador (*target*).

Para a utilização do algoritmo foi escolhida a opção de validação cruzada (*cross validation*), recomendada por Melo et al. (2002) e Romão (2002). A validação cruzada dividiu os dados em arquivos de treinamento (usado para construir um conjunto de modelos), validação (usado para escolher o melhor modelo, que seja compreensível por especialistas e de precisão aceitável) e teste (usado para avaliar a performance do modelo com dados novos).

A ferramenta de Mineração de Dados utilizada foi a árvore de decisão (*decision trees*), recomendada por Mitchell (1997), Ebecken (1998), Kufrin (1997), Sousa (1998),

Agrawal et al., (1998), Hilderman e Hamilton (2001), Centeio (2002), Zhang et al. (2005), e Vale et al. (2006). A árvore de decisão é uma ferramenta útil para classificar as variáveis que são realmente úteis para prever o valor de uma variável resposta durante a fase de análise exploratória de dados.

O algoritmo de indução utilizado foi o J48, também utilizado por outros autores em modelos similares (CENTEIO, 2002; MELO et al., 2002; ROMÃO, 2002; NEVES, 2004; KASAHARA et al., 2005; VALE et al., 2006), que gerou uma árvore de decisão baseada em um conjunto de dados de treinamento, sendo o modelo usado para classificar as instâncias no conjunto de teste. O arquivo de treinamento foi usado para gerar uma explicação da variável dependente (*target*) em termos de variáveis independentes (*inputs*).

A forma de construção da árvore de decisão com o algoritmo J48 foi a abordagem *top-down* em que o atributo mais significativo, ou seja, o mais generalizado e com maior capacidade de classificação quando comparado a outros atributos do conjunto, foi utilizado como raiz da árvore, de onde se dividiu os demais ramos. Na sequência da construção, o próximo nó da árvore foi o segundo atributo mais significativo, e assim sucessivamente até gerar o nó folha, que representou o atributo alvo da instância ou da classificação.

O programa computacional utilizado para as análises foi o WEKA® (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*), versão 3-4, que é um *software* de aprendizagem de máquina em Java (WEKA, 2007).

Passo 2. Teste geral do projeto

O passo seguinte da modelagem foi o teste geral do projeto, que é um procedimento ou um mecanismo para testar a qualidade e a validade do modelo antes de sua construção real. Separou-se a série de dados em treinamento e teste, construiu-se o modelo no treinamento e estimou-se sua qualidade no conjunto separado de teste. Foi utilizada a taxa de erro como medida da qualidade do modelo.

Para a avaliação dos resultados através da validação cruzada, a qual divide parte do conjunto para o treinamento e parte para o teste, os dados foram divididos em dez partes, em que nove delas foram usadas para treinamento e uma para teste. Sendo

assim, segundo Rezende et al. (2003), a classificação foi repetida dez vezes, a parte teste foi usada para validar a parte de treinamento, isto foi feito para melhorar as regras geradas para as classes (REZENDE et al., 2003).

Para evitar o super-treinamento da árvore de decisão foi realizada uma filtragem do conhecimento (BRUHA e FAMIL, 2000), aplicando-se o processo de pós-poda, eliminando-se folhas muito específicas, que cobriam poucos exemplos (*overfitting*). Para isso utilizou-se a função de filtragem (*filter*) do WEKA. Uma vantagem da utilização da poda está relacionada ao menor tempo gasto na fase de extração de regras, uma vez que menos regras serão analisadas (SOUSA, 1998).

Passo 3. Configuração do modelo

De acordo com a base de dados formada, com dados climáticos (temperatura de bulbo seco, umidade relativa e índice de temperatura e umidade) e fisiológicos (temperatura retal e frequência respiratória) os resultados da Mineração de Dados foram analisados de duas maneiras: a primeira com a base de dados contendo a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa; e a segunda com a base de dados contendo o índice de temperatura e umidade. A caracterização linguística da sensação de conforto dos animais para a entrada no modelo em muito bom, bom, regular e ruim, foi feita de acordo com a relação entre os limites da temperatura retal e da frequência respiratória.

Nesta etapa foi utilizada a ferramenta de modelagem selecionada para produzir o modelo a partir da série de dados de entrada e feito um pós-processamento dos resultados da Mineração de Dados, ou seja, foi possível visualizar as árvores de decisão formadas. Uma vez que o modelo de classificação foi construído, um conjunto de regras foi obtido lendo a árvore, de cima para baixo, até alcançar cada nó folha. Como resultado final, alcançou-se um conjunto ordenado de regras. Cada caminho possível da árvore correspondeu a uma regra do tipo “SE <condicional> ENTÃO <consequente>”.

Como continuação do processo de modelagem o modelo resultante foi descrito e interpretado e a precisão prevista foi avaliada. Também foi feita uma descrição das características dos modelos gerados que tinham a tendência de ser úteis para o futuro, e uma listagem das regras produzidas.

Passo 4. Avaliação do modelo

Na última etapa da fase de modelagem foi feita uma avaliação para assegurar que o modelo se encontrava com os critérios de sucesso da Mineração de Dados e de teste desejados. A avaliação baseou-se em critérios de precisão, compreensibilidade e grau de interesse. O conhecimento extraído foi interpretado de acordo com as exigências do sistema de produção, documentado e comparado ao conhecimento pré-existente, para verificação de conflitos e de conformidades, e para verificar se a informação descoberta era nova e útil.

A precisão geral do modelo gerado pelo algoritmo de indução J48, utilizando a opção de validação cruzada, com os dados de teste, foi obtida pela análise dos dados classificados corretamente (*Correctly Classified Instances*). Essa precisão foi obtida pela divisão do número de dados classificados corretamente pelo número total de dados classificados pelo modelo (*Total Number of Instances*). Por outro lado a probabilidade de erro, ou seja, os dados classificados incorretamente (*Incorrectly Classified Instances*), foi obtido pela divisão do número de dados classificados incorretamente pelo número total de dados classificados pelo modelo.

A etapa seguinte baseou-se na avaliação das regras produzidas (se são lógicas, praticáveis, muitas ou poucas, se atendem a um sentido comum), e na combinação e refino dos resultados dos modelos, visando a obtenção de maior precisão e melhor desempenho do sistema em sua totalidade.

Para estimar a taxa de acerto em cada classe de conforto térmico estudada utilizou-se os critérios de precisão (*precision*) e de acertos (*recall*). Como resultado do modelo gerado com os dados de teste, obteve-se uma matriz de confusão (um tipo de tabela de contingência para análise de previsões corretas e errôneas), com domínio composto por quatro classes, denominadas aqui de “muito_bom”, “regular”, “ruim” e “bom”. O objetivo da análise da matriz de confusão foi verificar a precisão das hipóteses geradas (regras e árvores de decisão) utilizando as instâncias não vistas durante o processo de treinamento, ou seja, o conjunto destinado para o teste. O algoritmo de classificação foi executado e o resultado dividido em desesseis categorias:

- Classificações “muito_bom” realizadas corretamente;
- Classificações “regular” realizadas corretamente;

- Classificações “ruim” realizadas corretamente;
- Classificações “bom” realizadas corretamente;
- Classificações “muito_bom” realizadas erradamente como “regular” (E1);
- Classificações “muito_bom” realizadas erradamente como “ruim” (E1);
- Classificações “muito_bom” realizadas erradamente como “bom” (E1);
- Classificações “regular” realizadas erradamente como “muito_bom” (E2);
- Classificações “regular” realizadas erradamente como “ruim” (E2);
- Classificações “regular” realizadas erradamente como “bom” (E2);
- Classificações “ruim” realizadas erradamente como “muito_bom” (E3);
- Classificações “ruim” realizadas erradamente como “regular” (E3);
- Classificações “ruim” realizadas erradamente como “bom” (E3);
- Classificações “bom” realizadas erradamente como “muito_bom” (E4);
- Classificações “bom” realizadas erradamente como “regular” (E4);
- Classificações “bom” realizadas erradamente como “ruim” (E4).

O esquema de saída da matriz de confusão, com o posicionamento das classificações corretas e incorretas é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Esquema de saída da matriz de confusão

Classes	Muito bom	Regular	Ruim	Bom
Muito bom	Corretas	E1	E1	E1
Regular	E2	Corretas	E2	E2
Ruim	E3	E3	Corretas	E3
Bom	E4	E4	E4	Corretas

* E1, E2, E3, E4: classificações erradas

** Corretas: classificações corretas

A precisão é a relação entre o número de atributos corretamente classificados em determinada classe com o número total de atributos classificados pelo modelo nessa classe. Já o acerto é a relação entre o número de atributos corretamente classificados em determinada classe com o número total de atributos que poderiam ser classificados nessa classe. Por exemplo, para a classe muito bom teremos:

$$\text{Precisão} = \text{Corretas} / (\text{Corretas} + E2 + E3 + E4)$$

$$\text{Acerto} = \text{Corretas} / (\text{Corretas} + E1 + E1 + E1)$$

3.2.1.4 Avaliação do processo de Mineração de Dados

Neste estágio do processo de descoberta do conhecimento as etapas executadas foram revistas, visando avaliar melhor o modelo e ter a certeza de que os objetivos iniciais foram atingidos. Para tanto, trabalhou-se em dois pontos básicos: avaliação dos resultados; e revisão do processo.

Passo 1. Avaliação dos resultados

Como primeira etapa foi feita uma avaliação e um sumário dos resultados da Mineração de Dados com respeito aos objetivos do setor produtivo e aos objetivos da Mineração de Dados. Foi feita uma interpretação prática dos resultados da Mineração de Dados.

Passo 2. Revisão do Processo

Foi feita uma revisão mais completa do processo de Mineração de Dados a fim de determinar se houve qualquer fator importante que foi de algum modo negligenciado. Os resultados da Mineração de Dados foram revistos com respeito aos critérios de sucesso do setor produtivo, e foi feita uma análise do potencial de aplicação de cada resultado.

3.2.1.5 Aplicação da base de conhecimento

Como etapa final do processo de descoberta do conhecimento, a fase da aplicação referiu-se a organização do conhecimento adquirido para ser apresentado de uma maneira que pudesse ser usado.

Após ser avaliado e validado na etapa de pós-processamento o conhecimento extraído foi incorporado a um sistema inteligente, baseado em lógica *fuzzy*.

Para finalizar essa etapa da análise dos dados, foram feitas indicações de conclusões, de desafios ou de sugestões para projetos de Mineração de Dados futuros.

3.3 Desenvolvimento dos cenários

Na segunda etapa de análise dos dados foi montado um sistema de regras baseado no conhecimento adquirido com a Mineração de Dados. A base de regras foi utilizada para a modelagem do sistema especialista, que foi baseado em lógica *fuzzy*, como já realizado por vários autores (GATES et al., 1999; NAKAMURA et al, 2002; FIRK et al., 2003; CVETICANIN, 2003; CADENAS et al., 2004; AMENDOLA et al., 2005a; OLIVEIRA et al., 2005; MALTZ, et al., 2006), cujo objetivo foi fazer com que as decisões tomadas pelo algoritmo se aproximassem cada vez mais das decisões humanas, principalmente ao se trabalhar com grande variedade de informações vagas e incertas.

Por meio da lógica *fuzzy*, pretendeu-se dar um tratamento matemático às variáveis de cunho subjetivo e “nebuloso”, portanto, considerou-se que, por essas características, a metodologia proposta poderia consistir em uma ferramenta valiosa para ser usada no condicionamento de ambientes de criação de bovinos leiteiros. Foi utilizado o *software* MATLAB® 6.1, no módulo *Fuzzy Logic Toolbox*.

Para a construção da estrutura básica do sistema baseado em regras *fuzzy* seguiu-se as recomendações de Amendola et al. (2005b), que sugerem a inclusão de quatro componentes principais:

- 1) Um *fuzzificador*, que traduz a informação de entrada em conjuntos *fuzzy*. A cada variável de entrada são atribuídos termos linguísticos que são os estados da variável, e cada termo linguístico é associado a um conjunto *fuzzy* traduzido por uma função de pertinência;
- 2) Uma base de conhecimento, que contém um conjunto de regras *fuzzy* (conhecido como base de regras) e um conjunto de funções de pertinência conhecido como base de dados;
- 3) Um método de inferência, que aplica um raciocínio *fuzzy* para obter uma saída *fuzzy*;
- 4) Um *defuzzificador*, que traduz o valor da variável linguística de saída, inferida pelas regras *fuzzy*, para um valor numérico.

As variáveis de entrada do modelo, ou seja, as variáveis independentes, foram as variáveis meteorológicas temperatura de bulbo seco (°C), umidade relativa do ar (%), e índice de temperatura e umidade, e as variáveis fisiológicas frequência respiratória (mov

min^{-1}) e temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$). A variável de saída, ou seja, a variável dependente, foi a sensação de conforto térmico dos animais. Em seguida foram feitas as partições do domínio, ou seja, as representações das variáveis numéricas como variáveis linguísticas.

Na construção dos conjuntos *fuzzy* foi utilizado um modelo com quatro caracterizações linguísticas em que foram consideradas classificações relativas ao estado de conforto térmico proporcionado pelo sistema de confinamento em: muito bom, bom, regular e ruim.

Em seguida, construiu-se a matriz demanda (variáveis dependentes) em que a classificação feita anteriormente foi substituída por um critério de pesos, sabendo-se que os valores de cada afirmação pertencem a um intervalo de 0 a 1, onde o valor 1 corresponde a 100% de veracidade da afirmação. Desta forma foi possível manipular uma simulação com uma maior flexibilidade, visto que, a partir das regras fornecidas pela etapa de Mineração de Dados e baseadas na literatura, podem-se obter resultados mais próximos da realidade em relação à sensação de conforto térmico dos animais confinados.

O próximo passo foi a definição da matriz de oferta, caracterizando as variáveis independentes por termos linguísticos apropriados (muito bom, bom, regular e ruim) que fornecem a indicação da existência ou ausência de uma condição em um ambiente elementar. Para a formação do cenário proposto, construiu-se um banco regras, que relacionaram as variáveis de entrada com as de saída. O formato geral da regra *fuzzy* foi o seguinte: SE <condicional> E <condicional> ENTÃO <consequente>.

O método de inferência utilizado foi o Método de Mamdani (MANDANI, 1976) que combina os graus de pertinência referentes a cada um dos valores de entrada através do operador mínimo e agrega as regras através do operador máximo. Os resultados da *defuzzificação* foram calculados com a aplicação do método do centro de gravidade, também utilizado por vários autores em pesquisas da mesma natureza (AMENDOLA et al. 2004; WATANABE et al. 2005; ALVES, 2006; AMENDOLA et al., 2006; BRUNASSI et al. 2006; CAMPOS e AMENDOLA, 2006; CHIARINI et al. 2006; OWADA e NÄÄS, 2006; PANDORFI et al. 2006; SANTOS e NÄÄS, 2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados em duas partes: primeiro se encontra a organização da base de conhecimento usada para o desenvolvimento do algoritmo e, em seguida, são descritos os cenários das simulações do modelo desenvolvido.

4.1 Base de conhecimento

Como etapa inicial do processo de discussão dos resultados procedeu-se a descrição, exploração, e verificação da qualidade dos dados adquiridos.

4.1.1 Parâmetros climáticos

A Tabela 4 apresenta a média das variáveis climáticas temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa (UR) e das temperaturas mínima e máxima, além do índice de temperatura e umidade (ITU), durante o período experimental, no interior e no exterior das instalações utilizadas para o estudo.

Tabela 4 - Média diária das variáveis climáticas durante o período experimental

	Ambiente 1	Ambiente 2	Externo 1	Externo 2
Temperatura de bulbo seco (°C)	24,5 ^b	24,2 ^b	25,1 ^a	25 ^a
Umidade relativa (%)	62,7 ^a	57 ^b	60,8 ^{ab}	51,8 ^c
Índice de temperatura e umidade	72,1 ^{ab}	71 ^c	72,6 ^a	71,5 ^{bc}
Temperatura mínima (°C)	18,7 ^a	16 ^a	17,9 ^a	15,3 ^a
Temperatura máxima (°C)	31 ^b	32,1 ^b	32,8 ^{ab}	34,6 ^a
Umidade relativa mínima (%)	39,2 ^a	31,7 ^a	37,5 ^a	26,2 ^b
Umidade relativa máxima (%)	84,2 ^a	83,9 ^a	85,2 ^a	81 ^a
Índice de temperatura e umidade mínimo	66 ^a	62,1 ^b	64,9 ^a	61 ^b
Índice de temperatura e umidade máximo	77,9 ^c	78,4 ^{bc}	80 ^{ab}	80,5 ^a

^{a,b,c} - Médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

Os resultados da análise estatística apresentados na Tabela 4 mostram que a média diária durante o período experimental da temperatura de bulbo seco média, mínima e máxima, da umidade relativa mínima e máxima e do índice de temperatura e umidade máximo observadas no interior das instalações estudadas não diferiram estatisticamente entre si. Por outro lado, a umidade relativa média e o índice de temperatura e umidade médio e máximo foram estatisticamente superiores no interior do ambiente 1 em relação ao do ambiente 2. As condições externas médias diárias durante o período experimental dos dois ambientes não diferiram significativamente entre si para as variáveis temperatura de bulbo seco média, mínima e máxima, umidade relativa máxima e índice de temperatura e umidade máximo. Os valores da umidade relativa média e mínima e do índice de temperatura e umidade médio e mínimo foram estatisticamente superiores no exterior do ambiente 1 em relação ao do ambiente 2.

Observa-se também através dos resultados da análise estatística apresentados na Tabela 4 que no ambiente 1 as condições externas foram superiores as condições internas apenas para as variáveis temperatura de bulbo seco média e índice de temperatura e umidade máximo. Para as demais variáveis estudadas não verificou-se diferença estatística significativa entre o interior e o exterior da instalação.

Já no ambiente 2 não se observou diferença estatística significativa entre o interior e o exterior da instalação para as variáveis temperatura de bulbo seco mínima, índice de temperatura e umidade média e mínima, e umidade relativa máxima. Nas demais variáveis, com exceção da umidade relativa média e mínima, os valores encontrados no exterior foram superiores aos do interior da instalação.

- **Temperatura máxima e mínima (Tmax e Tmin)**

As médias da temperatura máxima e da temperatura mínima, durante o período experimental, apresentadas na Tabela 4, mostram um diferencial de temperatura ao longo do dia de 12,3°C e 16,1°C para o interior da instalação do ambiente 1 e do ambiente 2, respectivamente. Já o exterior das instalações apresentou uma amplitude térmica de 14,9°C e 19,3°C para os ambientes 1 e 2, respectivamente.

Uma análise das temperaturas máximas médias obtidas no período permite concluir que foram atingidas temperaturas bem superiores às consideradas adequadas

pela literatura (HUBER, 1990) para a manutenção da homeotermia de vacas Holandesas em lactação, principalmente no ambiente externo à instalação, onde verificou-se temperaturas máximas médias de 32,8°C e 34,6°C nos ambientes 1 e 2, respectivamente. Ressalta-se a importância da utilização de abrigos bem planejados e da adoção de métodos de controle térmico naturais e/ou artificiais, quando se deseja otimizar a produção leiteira, tendo em vista que também verificou-se temperaturas máximas médias elevadas no interior das instalações estudadas (31°C e 32,1°C no ambiente 1 e 2, respectivamente).

- **Temperatura de bulbo seco (Tbs)**

A Figura 7 apresenta os valores médios horários da temperatura de bulbo seco (Tbs) no interior e no exterior das instalações dos ambientes estudados, obtidos durante o período experimental, além da Tbs de conforto e da Tbs crítica superior (TCS) segundo a literatura.

Figura 7 - Média da temperatura de bulbo seco horária no interior e no exterior da instalação no ambiente 1 (a) e no ambiente 2 (b)

Observa-se que o condicionamento térmico ao longo do dia no interior das instalações estudadas esteve a maior parte do tempo acima da condição recomendada para vacas Holandesas, em lactação, onde a temperatura ambiente considerada ótima varia entre 7 e 21°C (NÄÄS, 1989).

Observou-se como início do período crítico para o conforto térmico dos animais, em ambos ambientes estudados, o horário das 11h:00min, onde os valores da Tbs dentro das instalações ultrapassaram os 27°C, considerada a temperatura crítica superior (TCS) (BAÊTA e SOUZA, 1997), promovendo condições inadequadas de conforto térmico. No ambiente 1 essa condição se estendeu até às 18h:00min, atingindo o pico às 15h:00min, em que se registrou valores da ordem de 30,7°C. Já no ambiente 2, registrou-se valores superiores a TCS até às 20h:00min, atingindo o pico às 16h:00min, com valores da ordem de 31,7°C. No exterior das instalações estudadas o período com valores de Tbs acima da TCS compreendeu o intervalo entre 12h:00min e 20h:00min no ambiente 1 e entre 10h:00min e 20h:00min no ambiente 2.

- **Umidade relativa (UR)**

A Figura 8 apresenta os valores médios horários da umidade relativa do ar (UR) no interior e no exterior das instalações dos ambientes estudados, obtidos durante o período experimental.

Figura 8 - Média da umidade relativa horária no interior e no exterior da instalação no ambiente 1 (a) e no ambiente 2 (b)

Observa-se, como era de se esperar devido as características climáticas dos locais de estudo, a ocorrência de valores de umidade relativa média estatisticamente superiores no ambiente 1 (clima subtropical) em relação ao ambiente 2 (clima mediterrâneo), tanto no interior como no exterior das instalações.

O volume de ar se contrai e/ou se expande com a variação da temperatura. Essa variação de volume impõe um limite à quantidade de vapor d'água que pode ser retirada pelo volume de ar: quanto maior a temperatura, maior a quantidade saturante de vapor d'água. Nessas condições, a tendência de variação diária da umidade relativa do ar está relacionada ao fato de que a pressão parcial de vapor (e_a) varia pouco durante o dia, mas a pressão de saturação de vapor (e_s) varia exponencialmente com a temperatura do ar.

Respeitando a tendência de evolução inversa entre a temperatura e a umidade, observa-se na Figura 8 que entre os horários de maior temperatura ocorrem os menores valores de umidade relativa. Sendo assim, quando a temperatura ambiente for superior a temperatura crítica, a adoção de um sistema de resfriamento adiabático evaporativo mostra-se como uma estratégia a fim de melhorar as condições de conforto.

4.1.2 Índice de temperatura e umidade (ITU)

A Figura 9 apresenta os valores médios horários do índice de temperatura e umidade (ITU) no interior e no exterior das instalações dos ambientes estudados, obtidos durante o período experimental, além do ITU de conforto e do ITU crítico superior (ITU CS) segundo a literatura.

Figura 9 - Média do índice de temperatura e umidade horário no interior e no exterior da instalação no ambiente 1 (a) e no ambiente 2 (b)

De acordo com a Figura 9, no interior das instalações dos dois ambientes estudados, a condição normal de conforto recomendada por Igono et al. (1992), ou seja, ITU menor ou igual a 72, foi superada por volta das 9h:00min, sendo observada novamente apenas após às 20h:00min. No intervalo horário entre 12h:00min e 19h:00min constatou-se a ocorrência de estresse térmico alto, segundo Igono et al. (1992), com valor acima do ITU crítico superior de 76. O pico do ITU se deu às 15h:00min no ambiente 1 e às 16h:00min no ambiente 2, com valores médios do período de estudo de 77,8 e 78,2, respectivamente.

No exterior das instalações dos dois ambientes estudados, o ITU ficou acima de 72 no intervalo horário entre 10h:00min e 22h:00min e acima de 76 entre 11h:00min e 19h:00min, sendo observado o pico do ITU às 17h:00min, com valores médios do período de estudo de 79,9 e 80,6, no ambiente 1 e 2, respectivamente.

4.1.3 Parâmetros fisiológicos

A Tabela 5 apresenta os valores médios, máximos e mínimos das variáveis fisiológicas temperatura retal (TR) e frequência respiratória (FR) obtidas em clima subtropical (ambiente 1) e em clima mediterrâneo (ambiente 2).

Tabela 5 - Médias das variáveis fisiológicas dos animais no período experimental

Variável	TR (°C)		FR (mov min ⁻¹)	
	Ambiente	Ambiente	Ambiente	Ambiente
	1	2	1	2
Média	38,4 ^{Aab}	38,5 ^{Ab}	58,0 ^{Aab}	58,4 ^{Ab}
Mínimo	38,1 ^{Ab}	38,3 ^{Ab}	49,4 ^{Bb}	55,1 ^{Ab}
Máximo	38,6 ^{Aa}	38,8 ^{Aa}	62,6 ^{Ba}	65,9 ^{Aa}

^{A,B} - Médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

^{a,b} - Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

Os resultados da análise estatística apresentados na Tabela 5 mostram que a TR não diferiu estatisticamente entre os ambientes estudados. Por outro lado, a FR mínima e máxima foram estatisticamente superiores no ambiente 2 em relação ao ambiente 1.

Observa-se, também, que os valores máximos observados das variáveis

fisiológicas foram estatisticamente superiores aos valores mínimos e médios, com exceção da TR no ambiente 1 e da FR no ambiente 2 onde apenas o valor mínimo foi inferior ao máximo.

- **Temperatura retal (TR)**

A Figura 10 mostra as médias horárias da temperatura retal dos animais obtidas em ambos ambientes estudados.

Figura 10 - Médias da temperatura retal dos animais nos ambientes estudados, nos horários analisados

Observa-se uma tendência de elevação dos valores da temperatura retal durante o decorrer do dia, em ambos ambientes estudados. A partir das 15h:00min, a temperatura do ar começou a cair (Figura 7) enquanto que a temperatura retal continuou a aumentar, mostrando que durante o dia esta se eleva mais em função do metabolismo animal do que propriamente pela temperatura ambiente, estando de acordo com o trabalho realizado por Baccari Júnior et al. (1979) que, em condições de termoneutralidade, encontraram correlação mais alta entre a TR de bovinos holandeses com a hora do dia ($r=0,96$) do que com a temperatura do ar ($r=0,71$). De maneira semelhante, Martello (2002), Perissinotto (2003) e Matarazzo (2004) observaram na temperatura retal média dos animais tendência de elevação durante o decorrer do dia.

Em clima mediterrâneo, em todos os horários analisados, a TR atingiu valores

superiores aos encontrados em clima subtropical, porém, essa diferença não foi estatisticamente significativa. Os valores médios encontrados para o ambiente 1 e para o ambiente 2 foram, respectivamente: 38,2°C e 38,4°C (9h:00min-10h:00min), 38,2°C e 38,4°C (11h:00min-12 h:00min), 38,5°C e 38,5°C (13h:00min-14h:00min), 38,5°C e 38,6°C (15h:00min-16h:00min) e 38,5°C e 38,7°C (17h:00min-18h:00min).

Observa-se que a temperatura retal sofre interação com a hora do dia, apresentando um maior valor durante o período da tarde em relação ao da manhã, estando de acordo com Martello (2002).

Os valores médios encontrados no presente experimento situaram-se entre as faixas de normalidade 38 a 39,5°C considerada para a variável em questão (STOBER, 1993), mesmo que a análise climática tenha apontado a ocorrência de estresse térmico alto durante várias horas do dia no interior e no exterior das instalações estudadas.

• Frequência respiratória (FR)

A Figura 11 mostra as médias horárias da frequência respiratória dos animais obtidas em ambos ambientes estudados.

Figura 11 - Médias da frequência respiratória dos animais nos ambientes estudados, nos horários analisados

A frequência respiratória média dos animais apresentou uma tendência de elevação durante parte do dia seguida de início de queda, em ambos os ambientes

estudados. No ambiente 2, observou-se um pico de 62 mov min^{-1} no período das 13h:00min-14h:00min. Já no ambiente 1 esse pico ocorreu no período das 15h:00min-16h:00min.

Em clima mediterrâneo a FR atingiu valores semelhantes estatisticamente aos encontrados em clima subtropical durante todos os horários analisados. Os valores médios encontrados para o ambiente 1 e para o ambiente 2 foram, respectivamente: 54 e 54 mov min^{-1} (9h:00min-10h:00min), 56 e 58 mov min^{-1} (11h:00min-12h:00min), 60 e 62 mov min^{-1} (13h:00min -14h:00min), 62 e 60 mov min^{-1} (15h:00min-16h:00min) e 58 e 58 mov min^{-1} (17h:00min-18h:00min).

Assim como ocorreu com a TR, os valores médios da FR nos dois ambientes estudados situaram-se próximo ao limite de normalidade de 60 mov min^{-1} (HAHN et al., 1997) mesmo nos horários em que a análise climática apontou a ocorrência de estresse térmico alto no interior e no exterior das instalações estudadas.

4.2 Mineração de Dados para a construção do algoritmo

No processo inicial de análise dos dados foi utilizada a técnica de Mineração de Dados com o objetivo de formar uma árvore de decisão para a indução de regras.

O processo de Mineração de Dados foi feito da mesma maneira no ambiente 1 e no ambiente 2. Com o objetivo de observar se há variação no modelo devido a diferença no nível produtivo dos animais os dados foram analisados de duas maneiras: uma com a base de dados do rebanho total, e outra com a base de dados para vacas em diferentes níveis de produção de leite (produção menor que 20 L, de 20 a 25 L e maior que $25 \text{ L animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$).

De acordo com a base de dados formada, com dados climáticos e fisiológicos, os resultados da Mineração de Dados foram analisados de duas maneiras: a primeira com a base de dados contendo a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa; e a segunda com a base de dados contendo o índice de temperatura e umidade. A caracterização linguística da sensação de conforto dos animais para a entrada no modelo em muito bom, bom, regular e ruim, foi feita de acordo com a relação entre os limites da temperatura retal e da frequência respiratória.

4.2.1 Base de dados do rebanho total

4.2.1.1 Descrição dos dados utilizados no ambiente 1 (clima subtropical)

No ambiente 1 foram utilizadas 15 vacas e a coleta dos dados fisiológicos foi feita durante nove dias não consecutivos do mês de Novembro de 2003, realizadas às 9, 11, 13, 15 e 17h:00min, portanto, teve-se a disposição para o trabalho 675 dados de temperatura retal e de frequência respiratória.

Durante a etapa de pré-processamento dos dados foi feita a seleção e limpeza dos dados eliminando-se os dados considerados discrepantes, assim como atributos incompletos. Com isso, trabalhou-se com um total de 578 observações classificadas, de acordo com as variáveis fisiológicas frequência respiratória e temperatura retal, nas classes de sensação de conforto térmico muito bom (165 observações), bom (141 observações), regular (171 observações) e ruim (101 observações).

Na Tabela 6 é apresentada a média, os valores extremos (mínimo e máximo) e o desvio das variáveis frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), índice de temperatura e umidade (ITU), temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa do ar (UR), durante o período de coleta de dados fisiológicos.

Tabela 6 - Valor mínimo, máximo e média das variáveis frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa do ar (UR), e índice de temperatura e umidade (ITU) para os dados do ambiente 1 (clima subtropical)

Variável	FR (mov min ⁻¹)	TR (°C)	Tbs (°C)	UR (%)	ITU
Mínimo	32	36,0	21,2	21,2	68,4
Máximo	104	40,0	38,2	74,8	85,8
Média	58	38,4	29,4	45,6	76,2

Os dados fisiológicos obtidos em clima subtropical apresentaram uma amplitude de 72 mov min⁻¹ e 4,0°C para a frequência respiratória e temperatura retal, respectivamente, sendo que a FR variou do mínimo de 32 mov min⁻¹ ao máximo de 104 mov min⁻¹, com uma média de 58 mov min⁻¹. Já a TR variou do mínimo de 36°C ao máximo de 40,0°C, com média de 38,4°C. Da mesma forma, as variáveis climáticas e o índice de conforto térmico analisados apresentaram uma alta amplitude, sendo

constatado os valores de 17°C (mínimo de 21,2°C e máximo de 38,2°C), 53,6% (mínimo de 21,2% e máximo de 74,8%), e 17,4 (mínimo de 68,4 e máximo de 85,8), para a Tbs, UR e ITU, respectivamente. A média de Tbs foi de 29,4°C e do ITU 76,2. Já a UR apresentou média de 45,6%.

4.2.1.2 Descrição dos dados utilizados no ambiente 2 (clima mediterrâneo)

No ambiente 2 foram utilizados 6 animais e a coleta dos dados foi feita durante 20 dias não consecutivos nos meses de Agosto e Setembro de 2005, às 10, 12, 14, 16 e 18h:00min, portanto, teve-se a disposição para o trabalho 600 dados de temperatura retal e de frequência respiratória.

Devido a etapa de pré-processamento dos dados (com seleção e limpeza), trabalhou-se com um total de 526 dados classificados, de acordo com as variáveis fisiológicas frequência respiratória e temperatura retal, nas classes de sensação de conforto térmico muito bom (170 observações), bom (178 observações), regular (102 observações) e ruim (76 observações).

Na Tabela 7 é apresentada a média, os valores extremos (mínimo e máximo) e o desvio das variáveis frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), índice de temperatura e umidade (ITU), temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa do ar (UR), durante o período de coleta de dados fisiológicos.

Tabela 7 - Valor mínimo, máximo e média das variáveis frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa do ar (UR), e índice de temperatura e umidade (ITU), para os dados do ambiente 2 (clima mediterrâneo)

Variável	FR (mov min ⁻¹)	TR (°C)	Tbs (°C)	UR (%)	ITU
Mínimo	36	37,9	19,5	19,3	66,3
Máximo	104	40,0	38,2	78,1	85,8
Média	58,4	38,5	29,3	41,4	75,4

A amplitude dos dados fisiológicos obtidos em clima mediterrâneo foi de 68 mov min⁻¹ e 2,1°C para a frequência respiratória e temperatura retal, respectivamente, sendo que a FR variou do mínimo de 36 mov min⁻¹ ao máximo de 104 mov min⁻¹, com média de 58,4 mov min⁻¹. A TR variou do mínimo de 37,9°C ao máximo de 40,0°C, sendo a

média 38,5°C. Já as variáveis climáticas Tbs e UR e o ITU apresentaram, respectivamente, uma amplitude de 18,7°C (mínimo de 19,5°C e máximo de 38,2°C), 58,8% (mínimo de 19,3% e máximo de 78,1%), e 19,5 (mínimo de 66,3 e máximo de 85,8). A média da Tbs foi de 29,3°C, a da UR 41,4% e a do ITU 75,4.

Os resultados climáticos observados na Tabela 7 estão de acordo com os obtidos por Bouraoui et al (2002) em estudo da relação do ITU com a produção de leite em clima mediterrâneo.

4.2.1.3 Algoritmo resultante da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do rebanho total

- **Ambiente 1 (clima subtropical)**

A seguir é apresentado o algoritmo resultante da saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ambiente 1 (clima subtropical).

```
=====
=== Run information ===
Scheme:      weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2
Relation:    Análise BR - Dados Tbs+UR+conforto-
weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R3-5-weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0
Instances:   578
Attributes:  3      Tbs int      UR int      Conforto
Test mode:   10-fold cross-validation
=== Classifier model (full training set) ===
J48 pruned tree
-----
Tbs int <= 31
|  UR int <= 61.2
|  |  Tbs int <= 28.8
|  |  |  UR int <= 35.7: muito_bom (24.0)
|  |  |  UR int > 35.7
|  |  |  |  UR int <= 45.8
|  |  |  |  UR int <= 36: regular (5.0)
|  |  |  |  UR int > 36: bom (50.0)
|  |  |  |  UR int > 45.8
|  |  |  |  Tbs int <= 28.1
|  |  |  |  |  Tbs int <= 25.2: muito_bom (29.0/4.0)
|  |  |  |  |  Tbs int > 25.2: bom (48.0/4.0)
|  |  |  Tbs int > 28.8
|  |  |  UR int <= 52.3
|  |  |  UR int <= 32.1: bom (55.0/6.0)
|  |  |  UR int > 32.1
```



```

| | | | | UR int <= 51.7
| | | | | Tbs int <= 30.5: muito_bom (2.0)
| | | | | Tbs int > 30.5: regular (50.0)
| | | | | UR int > 51.7: bom (6.0)
| | | UR int > 52.3: regular (37.0/4.0)
| UR int > 61.2
| | Tbs int <= 23.8: muito_bom (28.0)
| | Tbs int > 23.8
| | | Tbs int <= 24.3: regular (13.0/2.0)
| | | Tbs int > 24.3: bom (31.0/5.0)
Tbs int > 31
| Tbs int <= 33.1
| | UR int > 30.5
| | | Tbs int <= 31.7
| | | Tbs int <= 31.2: regular (25.0/1.0)
| | | Tbs int > 31.2: ruim (11.0)
| | | Tbs int > 31.7: regular (64.0)
| Tbs int > 33.1: ruim (100.0/8.0)
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
Correctly Classified Instances      528      91.3495 %
Incorrectly Classified Instances    50      8.6505 %
Kappa statistic                    0.8835
Mean absolute error                 0.0664
Root mean squared error             0.1963
Relative absolute error             17.9225 %
Root relative squared error         45.6188 %
Total Number of Instances          578
=== Detailed Accuracy By Class ===
TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  Class
0.861    0.029    0.922     0.861   0.89      muito_bom
0.895    0.034    0.916     0.895   0.905     regular
0.96     0.017    0.924     0.96    0.942     ruim
0.965    0.037    0.895     0.965   0.928     bom
=== Confusion Matrix ===
  a  b  c  d  <-- classified as
142  9  0  14 | a = muito_bom
 8 153  8  2 | b = regular
 0  4 97  0 | c = ruim
 4  1  0 136 | d = bom

```

O algoritmo testado apresentou elevada precisão, ou seja, porcentagem de instâncias classificadas corretamente (91,3%) e baixa porcentagem classificadas incorretamente (8,7%). Observou-se uma matriz de confusão bastante consistente, com apenas 8,7% das 578 instâncias fora da diagonal principal, e precisão e taxa de acertos das hipóteses geradas (*precision*) de todas as classes próxima de 90%, indicando uma alta capacidade do modelo em representar as classes de conforto para este conjunto de dados.

Os resultados estão próximos aos obtidos em outros trabalhos de Mineração de

dados utilizando a árvore de decisão. Como exemplos podemos citar Yang et al. (2002), que em trabalho de classificação de imagens de solos, obtiveram índice de acerto de 91 a 99%, Pietersma et al. (2003), que identificaram vacas leiteiras com curvas de lactação consideradas fora da média, com acerto em 92% dos casos, e Zhang et al. (2005), que modelou a produção de pastagens com um acerto de 90% dos casos.

A Figura 12 mostra os valores críticos do estado de conforto térmico muito bom (sem estresse), bom (muito pouco estresse), regular (estresse moderado) e ruim (estresse alto), encontrados para vacas Holandesas em lactação, em função da base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa, para o ambiente 1 (clima subtropical). Como resultado tem-se a árvore de decisão, indicando a influência da Tbs e da UR no conforto dos animais.

Figura 12 - Árvore de decisão para da base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, temperatura retal e frequência respiratória

O conjunto de regras gerado para esta base de dados é:

- Regra 1: SE $Tbs \leq 28,8$ e $UR \leq 35,7$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 2: SE $Tbs \leq 28,8$ e $35,7 > UR \leq 45,8$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 3: SE $Tbs \leq 25,2$ e $45,8 > UR \leq 61,2$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 4: SE $25,2 > Tbs \leq 28,8$ e $45,8 > UR \leq 61,2$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 5: SE $28,8 > Tbs \leq 31$ e $UR \leq 32,1$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 6: SE $28,8 > Tbs \leq 31$ e $32,1 > UR \leq 61,2$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 7: SE $Tbs \leq 23,8$ e $UR > 61,2$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 8: SE $23,8 > Tbs \leq 31$ e $UR > 61,2$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 9: SE $31 > Tbs \leq 33,1$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 10: SE $Tbs > 33,1$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

O algoritmo da árvore de decisão mostra que quando observa-se valores de UR inferiores a 35% e temperaturas inferiores a 28,8°C é possível encontrar situações de conforto térmico muito bom. A a partir de 33°C de Tbs pode-se identificar condições altamente estressantes. Observa-se também a importância da análise conjunta da Tbs e da UR na determinação do conforto dos animais, concordando com Sota (1996).

• Ambiente 2 (clima mediterrâneo)

A seguir é apresentado o algoritmo da saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ambiente 2 (clima mediterrâneo).

==== Run information ====

Scheme: weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2

Relation: Análise PT - Dados Tbs+UR+conforto -

weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R3-5-weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0-

weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0-

Instances: 526

Attributes: 3 Tbs int UR int Conforto

Test mode: 10-fold cross-validation
 === Classifier model (full training set) ===
 J48 pruned tree

```

-----
Tbs int <= 31
| UR int <= 45.2
| | Tbs int <= 28.1: muito_bom (56.0/6.0)
| | Tbs int > 28.1
| | | UR int <= 33: bom (62.0/2.0)
| | | UR int > 33
| | | | UR int <= 35.8: bom (7.0)
| | | | UR int > 35.8: regular (71.0/10.0)
Tbs int <= 31
| UR int > 45.2
| | UR int <= 53: bom (53.0)
| | UR int > 53
| | | Tbs int > 19.8
| | | | Tbs int <= 22.8: muito_bom (105.0/7.0)
| | | | Tbs int > 22.8: bom (23.0)
Tbs int > 31
| UR int <= 26.8
| | Tbs int <= 32.5: bom (41.0)
| | Tbs int > 32.5: regular (48.0)
| UR int > 26.8
| | Tbs int > 31.3
| | | Tbs int <= 34: regular (8.0/2.0)
| | | Tbs int > 34: ruim (52.0/3.0)

```

=== Stratified cross-validation ===

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	452	85.9316 %
Incorrectly Classified Instances	74	14.0684 %
Kappa statistic	0.791	
Mean absolute error	0.1054	
Root mean squared error	0.2451	
Relative absolute error	31.0301 %	
Root relative squared error	59.5124 %	
Total Number of Instances	526	

=== Detailed Accuracy By Class ===

TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	Class
0.835	0.092	0.821	0.835	0.837	muito_bom
0.765	0.022	0.867	0.765	0.816	regular
0.921	0.01	0.933	0.921	0.906	ruim
0.904	0.091	0.856	0.904	0.885	bom

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	<-- classified as
142	4	0	24	a = muito_bom
16	78	5	3	b = regular
0	6	70	0	c = ruim
15	2	0	161	d = bom

Observa-se pelos resultados da saída do processo de Mineração de Dados que o algoritmo de indução J48, utilizando a opção de validação cruzada, com os dados de teste, classificou corretamente 85,9% dos dados e incorretamente 14,1% dos dados.

Através da análise da matriz de confusão observa-se que a classe de conforto ruim foi a que obteve maior precisão e acertos, 93,3% e 92,1%, respectivamente, e consequentemente menor erro (7,9%) entre as classes analisadas. Nas outras classes a precisão foi de aproximadamente 85%. A porcentagem de acertos na análise dos dados foi de 90,4% na classe de conforto bom, ficando próxima a de Yang et al. (2002) (91 a 99%), Pietersma et al. (2003) (92%), e Zhang et al. (2005) (90%). Essa porcentagem de acertos foi de 83,5% na classe de conforto muito bom e 76,5% na regular.

A Figura 13 mostra os valores críticos da sensação de conforto térmico muito bom (sem estresse), bom (muito pouco estresse), regular (estresse moderado) e ruim (estresse alto), encontrados para vacas Holandesas em lactação, em função da base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa, para o ambiente 2 (clima mediterrâneo). Como resultado tem-se a árvore de decisão, indicando a influência da Tbs e da UR no conforto dos animais.

Figura 13 - Árvore de decisão para a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa

O conjunto de regras para esta base de dados é:

- Regra 1: SE $Tbs \leq 28,1$ e $UR \leq 45,2$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 2: SE $28,1 > Tbs \leq 31$ e $UR \leq 33$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 3: SE $28,1 > Tbs \leq 31$ e $UR > 33$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;

- Regra 4: SE $T_{bs} \leq 31$ e $45,2 > UR \leq 53$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 5: SE $T_{bs} \leq 22,8$ e $UR > 53$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 6: SE $22,8 > T_{bs} \leq 31$ e $UR > 43$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 7: SE $31 > T_{bs} \leq 32,5$ e $UR \leq 26,8$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 8: SE $T_{bs} > 32,5$ e $UR \leq 26,8$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 9: SE $T_{bs} > 34$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

O algoritmo da árvore de decisão mostra que a partir de 34°C de T_{bs} pode-se identificar condições altamente estressantes. Desde que os valores de UR sejam inferiores a 45% é possível encontrar situações de conforto térmico muito bom a temperaturas inferiores a 28°C . Assim como no ambiente 1, os resultados observados no ambiente 2 concordam com Sota (1996) quanto a importância da análise conjunta da T_{bs} e da UR na determinação do conforto dos animais.

4.2.1.4 Algoritmo resultante da base de dados do índice de temperatura e umidade

- **Ambiente 1 (clima subtropical)**

A seguir é apresentado o algoritmo da saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo como entrada apenas os dados do índice de temperatura e umidade do ambiente 1 (clima subtropical). A caracterização linguística da sensação de conforto dos animais para a entrada no modelo em muito bom, bom, regular e ruim, foi feita de acordo com a relação entre os limites da temperatura retal e da frequência respiratória.

```
=====
=== Run information ===
Scheme:      weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2
Relation:    Análise – dados do Brasil-weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R1-2
Instances:   578
Attributes:  2      ITU      Conforto
Test mode:   10-fold cross-validation
=== Classifier model (full training set) ===
J48 pruned tree
=====
ITU <= 77.1
| ITU <= 72: muito_bom (341.0/151.0)
| ITU > 72
| | ITU <= 72.1: regular (5.0/4.0)
```

```

| | | ITU > 72.1: bom (48.0/6.0)
ITU > 77.1
| ITU <= 80.3: regular (123.0/21.0)
| ITU > 80.3: ruim (61.0/20.0)
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
Correctly Classified Instances      560      96.8858 %
Incorrectly Classified Instances    18      3.1142 %
Kappa statistic                    0.9582
Mean absolute error                 0.0264
Root mean squared error             0.1186
Relative absolute error             7.0718 %
Root relative squared error        27.4613 %
Total Number of Instances          578
=== Detailed Accuracy By Class ===
TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  Class
0.934    0.009    0.972     0.934   0.953      muito_bom
0.964    0.005    0.988     0.964   0.976      regular
1        0.002    0.991     1       0.996      ruim
0.986    0.025    0.929     0.986   0.957      bom
=== Confusion Matrix ===
 a   b   c   d   <-- classified as
141   1   0   9   | a = muito_bom
 3   162  1   2   | b = regular
 0   0   114  0   | c = ruim
 1   1   0   143  | d = bom

```

O algoritmo testado apresentou medidas de desempenho bastante relevantes, no que diz respeito a sua performance para trabalhar com o tipo de conjunto de dados estudado. Observa-se elevada porcentagem de instâncias classificadas corretamente (96,9%) e baixa porcentagem classificadas incorretamente (3,1%), distribuição da acurácia (*precision*) e taxa de acertos (*recall*) por classe na grande maioria próximo de 1, e ainda matriz de confusão bastante consistente. Os resultados estão próximos aos obtidos em outros trabalhos de Mineração de dados utilizando a árvore de decisão (YANG et al., 2002; PIETERSMA et al., 2003; ZHANG et al., 2005).

A matriz de confusão confirma o bom desempenho do algoritmo, pois somente 3,1% das 578 instâncias estão fora da diagonal principal, indicando uma alta capacidade do modelo em representar as classes de conforto para este conjunto de dados.

A Figura 14 mostra os valores críticos das classes de sensação de conforto térmico muito bom (sem estresse), bom (muito pouco estresse), regular (estresse moderado) e ruim (estresse alto), encontrados para vacas Holandesas em lactação, em função da base de dados contendo apenas dados do índice de temperatura e umidade do ambiente 1 (clima subtropical). Como resultado tem-se a árvore de decisão,

indicando a influência do ITU no conforto dos animais.

Figura 14 - Árvore de decisão para o índice de temperatura e umidade

O conjunto de regras obtidas para esta base de dados é:

- Regra 1: SE $ITU \leq 72$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 2: SE $72 > ITU \leq 77,1$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 3: SE $77,1 > ITU \leq 80,3$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 4: SE $ITU > 80,3$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

De acordo com a Figura 14 pode-se observar que, nas condições encontradas no ambiente 1 (clima subtropical) e em função das variáveis fisiológicas temperatura retal e frequência respiratória, os animais não apresentaram sinais de estresse térmico quando o ITU foi menor ou igual a 77,1, sendo considerado que abaixo do valor de ITU de 72,0 a sensação de conforto é muito boa. Por outro lado, os resultados obtidos sugerem que valores de ITU superiores a 80,3 expõem os bovinos leiteiros da raça Holandesa, em lactação e em condição de confinamento, a um elevado estresse pelo calor. Já valores de ITU compreendidos entre 77,1 e 80,3 sugerem estresse moderado.

Em função dos valores críticos do ITU encontrados na Figura 14 pode-se estabelecer as classes de conforto térmico em função da temperatura de bulbo seco (Tbs) e da umidade relativa do ar (UR), para vacas Holandesas em lactação confinadas na região em estudo. Os resultados estão apresentados na Figura 15.

Segundo a Figura 15 o limite superior da zona de termoneutralidade (ZTN) de vacas Holandesas em lactação em condição de confinamento situa-se próximo dos 26°C de temperatura de bulbo seco. A uma temperatura menor ou igual a 26°C o animal encontra-se em conforto térmico, independentemente da umidade relativa do ar. Porém,

é possível observar pela Figura 15 a importância da umidade relativa no conforto térmico, sendo que, quanto maior o valor dessa variável climática menor são os valores aceitáveis da temperatura do ar para que o animal continue em conforto. Observa-se que abaixo da temperatura de 22°C a sensação de conforto térmico é muito boa, independentemente dos valores de umidade relativa do ar.

UR (%)	Temperatura de bulbo seco (°C)														
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
20	62,5	63,8	65,1	66,4	67,7	69,0	70,3	71,6	72,9	74,2	75,4	76,7	78,0	79,3	80,6
30	64,5	65,8	67,1	68,4	69,8	71,1	72,4	73,7	75,0	76,3	77,6	78,9	80,2	81,5	82,8
40	66,0	67,3	68,6	70,0	71,3	72,6	73,9	75,3	76,6	77,9	79,2	80,5	81,9	83,2	84,5
50	67,2	68,5	69,9	71,2	72,5	73,8	75,2	76,5	77,8	79,2	80,5	81,8	83,2	84,5	85,8
60	68,2	69,5	70,9	72,2	73,5	74,9	76,2	77,6	78,9	80,2	81,6	82,9	84,2	85,6	86,9
70	69,1	70,4	71,7	73,1	74,4	75,8	77,1	78,5	79,8	81,2	82,5	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); margin-bottom: 5px;"></div> <div>Conforto Muito Bom</div> <div style="width: 15px; height: 15px; background: white; border: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"></div> <div>Conforto Bom</div> <div style="width: 15px; height: 15px; background: #cccccc; border: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"></div> <div>Conforto Regular</div> <div style="width: 15px; height: 15px; background: #808080; border: 1px solid black;"></div> <div>Conforto Ruim</div> </div>			
80	69,8	71,2	72,5	73,9	75,2	76,6	77,9	79,3	80,6	82,0	83,3				
90	70,5	71,9	73,2	74,6	75,9	77,3	78,6	80,0	81,3	82,7	84,1				
100	71,1	72,5	73,8	75,2	76,6	77,9	79,3	80,6	82,0	83,4	84,7				

Figura 15 - Classes do Índice de Temperatura e Umidade

Quando a temperatura se situa entre 27 e 28°C os animais também encontram-se em conforto térmico a não ser quando a umidade relativa apresenta-se muito elevada (maior que 90 e 80%, respectivamente) fazendo com que o conforto térmico diminua e o animal apresente estresse moderado (conforto regular).

Em ambientes com temperatura em torno de 29°C um elevado conforto térmico só é possível caso a umidade relativa apresente-se inferior a 20%. A partir desse valor de UR o conforto passa a ser bom até atingir o valor de 50%. Com valores de UR entre 60 e 90% o animal passa a experimentar uma situação de conforto regular, que passa a ser ruim quando o valor dessa variável climática fica superior a 90%. Situação parecida é observada quando a Tbs está próxima dos 30°C, porém, neste caso, não é mais possível encontrar condições de conforto térmico muito bom, mesmo com baixos valores de UR. Por outro lado, caso a UR apresente-se menor a 40%, considera-se que o conforto térmico ainda é bom. Um estresse moderado é observado entre 50 e 70% de UR e um estresse elevado é observado acima de 80% de UR.

A 31°C um conforto térmico bom só é possível em ambientes com UR menor a

30% e, quando esta variável climática atinge valores superiores a 60%, já pode-se considerar que o animal está em estresse térmico elevado.

A 32 e 33°C dificilmente os animais poderão experimentar boas condições de conforto térmico, pois isso só será possível a uma UR muito baixa (menor que 20%). Observa-se, também, a elevada possibilidade de ocorrência de estresse elevado, que irá ocorrer quando a UR atingir valores superiores a 40 e 30%, para Tbs de 32 e 33°C, respectivamente.

Acima de 34°C de Tbs pode-se observar que não é possível encontrar ambientes que possibilitem conforto térmico aos animais. A 34 e 35°C dificilmente os animais poderão experimentar, também, condições de estresse moderado, pois, isso só será possível a uma UR menor a 30%. Portanto, segundo a Figura 15, ambientes com temperatura acima de 34°C já podem ser considerados altamente estressantes, independentemente da umidade relativa do ar.

- **Ambiente 2 (clima mediterrâneo)**

A seguir é apresentado o algoritmo da saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo como entrada apenas os dados do ITU do ambiente 2 (clima mediterrâneo). A caracterização linguística da sensação de conforto dos animais para a entrada no modelo em muito bom, bom, regular e ruim, foi feita de acordo com a relação entre os limites da temperatura retal e da frequência respiratória.

```
=====
=== Run information ===
Scheme:      weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2
Relation:    Análise - dados de Portugal-weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0
Instances:   526
Attributes:  2      ITU      Conforto
Test mode:   10-fold cross-validation
=== Classifier model (full training set) ===
J48 pruned tree
-----
ITU <= 77.2
| ITU <= 71.4
| | ITU <= 68.9
| | | ITU <= 66.3: muito_bom (59.0/17.0)
| | | ITU > 66.3: bom (3.0/1.0)
| | ITU > 68.9
| | | ITU <= 70.5: muito_bom (73.0/11.0)
| | | ITU > 70.5: bom (4.0/1.0)
| ITU > 71.4: bom (220.0/99.0)
```

```

ITU > 77.2
| ITU <= 78.2: regular (61.0)
| ITU > 78.2
| | ITU <= 79.9
| | | ITU <= 78.4: ruim (3.0/1.0)
| | | ITU > 78.4: regular (54.0/5.0)
| | ITU > 79.9: ruim (49.0/11.0)
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
Correctly Classified Instances      516      98.0988 %
Incorrectly Classified Instances    10      1.9011 %
Kappa statistic                    0.9708
Mean absolute error                 0.0168
Root mean squared error             0.0971
Relative absolute error             5.3251 %
Root relative squared error        24.4591 %
Total Number of Instances          526
=== Detailed Accuracy By Class ===
TP Rate    FP Rate    Precision    Recall    F-Measure    Class
0.991      0.018      0.981      0.991      0.988      muito_bom
0.977      0          1          0.977      0.986      regular
1          0.003      0.972      1          0.977      ruim
0.962      0.009      0.974      0.962      0.971      bom
=== Confusion Matrix ===
 a   b   c   d   <-- classified as
210  0   0   2   | a = muito_bom
 0   85  0   2   | b = regular
 0   0  70  0   | c = ruim
 4   0   2  151  | d = bom

```

Assim como ocorrido no ambiente 1, no ambiente 2 o algoritmo testado apresentou medidas de desempenho bastante relevantes, no que diz respeito a sua performance para trabalhar com o tipo de conjunto de dados estudado. Com elevada porcentagem de instâncias classificadas corretamente (98,1%) e baixa porcentagem classificadas incorretamente (1,9%), distribuição da acurácia (*precision*) e taxa de acertos (*recall*) por classe na grande maioria próximo de 1, e ainda matriz de confusão bastante consistente, ficando próximo aos resultados obtidos em outros trabalhos de Mineração de dados utilizando a árvore de decisão (YANG et al., 2002; PIETERSMA et al., 2003; ZHANG et al., 2005).

Na matriz de confusão somente 1,9% das 526 instâncias estão fora da diagonal principal, indicando uma alta capacidade do modelo em representar as classes de conforto para este conjunto de dados, confirmando o bom desempenho do algoritmo.

A Figura 16 mostra os valores críticos das classes de sensação de conforto térmico muito bom (sem estresse), bom (muito pouco estresse), regular (estresse

moderado) e ruim (estresse alto), encontrados para vacas Holandesas em lactação, em função da base de dados contendo apenas dados do índice de temperatura e umidade do ambiente 2 (clima mediterrâneo). Como resultado tem-se a árvore de decisão, indicando a influência do ITU no conforto dos animais.

Figura 16 - Árvore de decisão para o índice de temperatura e umidade

O conjunto de regras obtidas para esta base de dados é:

- Regra 1: SE $ITU \leq 71,4$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 2: SE $71,4 < ITU \leq 77,2$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 3: SE $77,2 < ITU \leq 79,9$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 4: SE $ITU > 79,9$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

De acordo com a Figura 16 pode-se observar que, nas condições encontradas no ambiente 2 (clima mediterrâneo) e em função das variáveis fisiológicas temperatura retal e frequência respiratória, os animais não apresentaram sinais de estresse térmico quando o ITU foi menor ou igual a 77,2, sendo considerado que abaixo do valor de ITU de 71,4 a sensação de conforto é muito boa. Por outro lado, os resultados obtidos sugerem que valores de ITU superiores a 79,9 expõem os bovinos leiteiros da raça Holandesa em lactação em condição de confinamento a um elevado estresse pelo calor. Já valores de ITU compreendidos entre 77,2 e 79,9 sugerem estresse moderado.

Em função dos valores críticos do ITU encontrados na Figura 16 pode-se estabelecer as classes de conforto térmico em função da temperatura e da umidade relativa do ar, para vacas Holstein Frisian em lactação confinadas e para a região em estudo. Os resultados estão apresentados na Figura 17.

UR (%)	Temperatura de bulbo seco (°C)															
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
20	62,5	63,8	65,1	66,4	67,7	69,0	70,3	71,6	72,9	74,2	75,4	76,7	78,0	79,3	80,6	
30	64,5	65,8	67,1	68,4	69,8	71,1	72,4	73,7	75,0	76,3	77,6	78,9	80,2	81,5	82,8	
40	66,0	67,3	68,6	70,0	71,3	72,6	73,9	75,3	76,6	77,9	79,2	80,5	81,9	83,2	84,5	
50	67,2	68,5	69,9	71,2	72,5	73,8	75,2	76,5	77,8	79,2	80,5	81,8	83,2	84,5	85,8	
60	68,2	69,5	70,9	72,2	73,5	74,9	76,2	77,6	78,9	80,2	81,6	82,9	84,2	85,6	86,9	
70	69,1	70,4	71,7	73,1	74,4	75,8	77,1	78,5	79,8	81,2	82,5	<div><div></div> Conforto Muito Bom</div> <div><div></div> Conforto Bom</div> <div><div></div> Conforto Regular</div> <div><div></div> Conforto Ruim</div>				
80	69,8	71,2	72,5	73,9	75,2	76,6	77,9	79,3	80,6	82,0	83,3					
90	70,5	71,9	73,2	74,6	75,9	77,3	78,6	80,0	81,3	82,7	84,1					
100	71,1	72,5	73,8	75,2	76,6	77,9	79,3	80,6	82,0	83,4	84,7					

Figura 17 - Classes do Índice de Temperatura e Umidade

Os resultados encontrados para climas mediterrâneos são semelhantes aos encontrados para climas subtropicais, diferindo apenas em alguns valores de umidade relativa para que o conforto se enquadre em determinada classe. Observou-se que o limite superior da zona de termoneutralidade (ZTN) situa-se próximo dos 26°C de temperatura de bulbo seco e que abaixo da temperatura de 22°C a sensação de conforto térmico é muito boa, independentemente dos valores de umidade relativa do ar. Além disso, observa-se que ambientes com temperatura acima de 34°C já podem ser considerados altamente estressantes, independentemente da umidade relativa do ar.

Verificou-se que a análise do banco de dados do ambiente 1 e do ambiente 2 gerou um modelo de árvore de decisão com uma elevada precisão, indicando uma alta capacidade do modelo em representar as classes de conforto para o conjunto de dados utilizado.

Os resultados encontrados neste trabalho diferem dos encontrados por alguns autores quanto ao limite do ITU que reflete uma condição normal de conforto para os animais, sendo que, tanto no ambiente 1 (77,1) como no ambiente 2 (77,2) os resultados encontrados sugerem que esta condição é atingida até um limite de ITU mais elevado que o proposto por Hahn (1985), Du Preez et al. (1990) e Igono et al. (1992), que sugerem os valores de 70, 70 e 72, respectivamente. Da mesma forma, o limite do ITU que proporciona uma condição normal de conforto sugerido por USDC-ESSA (1970) *apud* Nienaber e Hahn (2004) e Rosenberg et al. (1983), ou seja, 74, é menor ao valor encontrado neste trabalho.

Por outro lado, diversos trabalhos realizados em clima subtropical já apontavam para a possibilidade de utilização de valores críticos do ITU maiores que os utilizados atualmente, estando de acordo com os valores encontrados neste trabalho. Como exemplo podemos citar Martello (2002), que não observou alteração na condição normal de termorregulação em vacas Holandesas quando as médias diárias do ITU não ultrapassaram 76, e Matarazzo (2004), que não verificou presença de estresse em vacas Holandesas quando analisou as variáveis temperatura retal e frequência respiratória, mesmo sob ambiente com ITU acima de 75.

Da mesma forma, os valores de ITU que sugerem estresse térmico alto encontrados neste trabalho, e que indicam a necessidade da tomada de providências para evitar perdas na produção ou até mesmo para evitar morte dos animais, tanto no ambiente 1 (80,3) como no ambiente 2 (79,9), foram mais elevados em relação aos sugeridos pela literatura, sendo mencionados que esse estresse alto ocorre quando os valores de ITU estão acima de 79 (HAHN, 1985), acima de 78 (DU PREEZ et al., 1990) e acima de 76 (IGONO et al., 1992).

Como era de se esperar, devido a grande semelhança entre os limites do ITU encontrados nos ambientes estudados, a relação entre a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa do ar também foi bastante parecida entre os dois ambientes. A técnica da Mineração de Dados fisiológicos e climáticos permitiu concluir que, de acordo com a faixa estabelecida nos dados de entrada, para os animais e condições de estudo, o limite superior da zona de termoneutralidade (ZTN) se situa próximo dos 26°C de temperatura de bulbo seco, sendo considerado valores de temperatura abaixo de 22°C como ideal, pois nesta condição, a sensação de conforto térmico será muito boa, independentemente dos valores de umidade relativa do ar.

Esses resultados diferem da recomendação de Baccari Júnior (1998), segundo o qual este limite se encontra a 24°C. Por outro lado, os resultados encontrados estão próximos ao sugerido por Fuquay (1997), que considerou para o gado europeu valores de temperatura crítica superior entre 25 a 27°C, por Berman et al. (1985), que sugerem que esta temperatura estaria entre 25 a 26°C para vacas em lactação, independente desta ter sido submetida à aclimatação prévia ou nível de produção, e por Huber (1990), que considerou como adequadas para o conforto térmico de vacas em lactação

temperatura do ar entre 4 a 26°C. Baêta e Souza (1997) consideram que a temperatura crítica superior (TCS) seria de 27°C para bovinos adultos, podendo variar para mais ou para menos em função da adaptação do animal ao frio e ao calor e também em função do tempo de exposição e do nível de produção do animal. Para Roenfeldt (1998), acima da TCS, o aumento da temperatura corporal influencia negativamente o desempenho, reduzindo a produção e alterando a composição do leite.

Segundo os resultados deste trabalho a uma temperatura menor ou igual a 26°C o animal encontra-se em conforto térmico, independentemente da umidade relativa do ar e, seguindo a afirmação de Bianca (1961), nestas condições os mecanismos termorregulatórios são eficientes em manter a temperatura corporal na faixa de normalidade.

Portanto, até 26°C de temperatura o balanço térmico é nulo, sendo o calor produzido pelo organismo animal mais o calor ganho pelo ambiente igual ao calor perdido por radiação, convecção, condução e evaporação (ESMAY, 1982). Nestas condições a dissipação de calor por meios não evaporativos, ou seja, pela condução, convecção e radiação, é facilitada, pois há um diferencial de temperatura entre o animal e o meio ambiente (JOHNSON, 1987). Sendo assim, a adoção de práticas simples pode ser eficiente na manutenção do conforto térmico animal como, por exemplo, a utilização de pisos cimentados (facilitando a transferências de calor por condução), o uso de ventiladores ou orientação adequada do eixo central da instalação (favorecendo a ventilação natural e facilitando a troca térmica por convecção), e a disponibilização de áreas sombreadas (facilitando a troca por radiação).

Shearer e Beede (1990) relataram que na zona de conforto térmico, para a maioria dos ruminantes, aproximadamente 75% das perdas de calor ocorrem pela forma não evaporativa (trocas secas).

Por outro lado, quando a temperatura ambiente ultrapassar a temperatura crítica superior, ou seja, 26°C, o gradiente térmico se tornará pequeno para que o resfriamento não evaporativo seja efetivo. Nestas condições, os animais utilizaram os mecanismos evaporativos (respiração e sudorese) para manter o balanço térmico, que se tornará a principal via de dissipação de calor. Sendo assim, torna-se necessária a utilização de sistemas naturais e artificiais para o controle eficiente do ambiente, com o objetivo de

manter o balanço térmico o mais próximo possível do nulo e oferecer conforto ao animal, permitindo que ele expresse seu potencial para produção sem comprometer aspectos reprodutivos e de saúde. Segundo West (2003), muitos métodos podem ser utilizados para modificar o ambiente no qual o animal está inserido visando minimizar o efeito do estresse térmico, como por exemplo, a movimentação do ar, o umedecimento da superfície do animal, o uso de sombra para minimizar o efeito da radiação solar, o dimensionamento dos espaços físicos, e a utilização de diferentes materiais de construção. Porém, para Davis (2001), quando a temperatura ambiente for superior a temperatura crítica, um destaque maior deve ser dado a utilização de um sistema de aspersão, por aumentar a quantidade de calor perdido por meio da pele.

No presente trabalho foi possível observar, também, a importância da análise conjunta das variáveis climáticas temperatura de bulbo seco e umidade relativa na análise do conforto térmico animal, sendo que, quanto maior o valor de uma dessas variáveis menor foi o valor aceitável da outra para que o animal continuasse experimentando uma sensação de conforto térmico, concordando com Sota (1996), segundo o qual quando a temperatura ambiente ultrapassa os valores máximos de conforto para o animal a umidade relativa assume fundamental importância na eliminação de calor, pois, em condições de umidade elevada o ar saturado irá inibir a evaporação da água pela pele e sistema respiratório, proporcionando um ambiente ainda mais estressante para o animal.

Os resultados também estão de acordo com Pennington e Vandevender (2005), que afirmaram que sinais de moderado estresse térmico ocorrem quando a temperatura está entre 27 e 32°C com umidade maior a 50%, e que em temperaturas entre 32 e 38°C e umidade maior a 50% as vacas mostram sinais evidentes de estresse térmico. Já West (2003) afirma que quando a temperatura ambiente for superior a 29°C e a umidade relativa correspondente a 40%, a produção da vaca Holandesa, Jersey e Pardo-Suiça equivale a 97, 83 e 98% da produção de leite normal, e quando a umidade relativa for igual a 90% a produção de leite será 69, 75 e 83% da produção normal.

Segundo os resultados da presente pesquisa, ambientes com temperatura acima de 34°C já podem ser considerados altamente estressantes, independentemente da umidade relativa do ar.

4.2.2 Base de dados para vacas em diferentes níveis de produção

4.2.2.1 Descrição dos dados utilizados no ambiente 1 (clima subtropical)

Na Tabela 8 é apresentada a média e os valores extremos (mínimo e máximo) do índice de temperatura e umidade (ITU), temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa do ar (UR), observados no ambiente 1.

Tabela 8 - Valor mínimo, máximo e média do índice de temperatura e umidade (ITU), temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa do ar (UR) para os dados do ambiente 1

Variável	Tbs (°C)	UR (%)	ITU
Mínimo	21,2	21,2	68,4
Máximo	38,2	74,8	85,8
Média	29,4	45,6	76,2

As variáveis climáticas e o índice de conforto térmico obtidos em clima subtropical, apresentaram uma alta amplitude, sendo encontrado os valores de 17,0°C (mínimo de 21,2°C e máximo de 38,2°C), 53,6% (mínimo de 21,2% e máximo de 74,8%), e 17,4 (mínimo de 68,4 e máximo de 85,8), para a Tbs, UR e ITU, respectivamente. A média de Tbs foi de 29,4°C, da UR 45,6% e do ITU 76,2.

No nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹, trabalhou-se com um total de 183 observações, sendo 22 classificadas na classe de sensação de conforto térmico muito bom, 52 como sensação de conforto térmico bom, 89 como regular e 20 ruim. No nível de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, trabalhou-se com 209 observações, sendo 88 classificadas na classe de sensação de conforto térmico muito bom, 38 como sensação de conforto térmico bom, 62 como regular e 21 ruim. Por fim, no nível de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, trabalhou-se com um total de 186 observações, sendo 66 classificadas na classe de sensação de conforto térmico muito bom, 35 como sensação de conforto térmico bom, 73 como regular e 12 ruim.

Na Tabela 9 é apresentada a média e os valores extremos (mínimo e máximo) das variáveis fisiológicas frequência respiratória (FR) e temperatura retal (TR), observados no ambiente 1, nos níveis de produção estudados (menor que 20 L, entre 20

e 25 L, e maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹).

Tabela 9 - Valor mínimo, máximo e média das variáveis frequência respiratória (FR) e temperatura retal (TR) para os dados do ambiente 1, nos níveis de produção estudados

	Menor que 20 litros		Entre 20 e 25 litros		Maior que 25 litros	
Variável	FR (mov min ⁻¹)	TR (°C)	FR (mov min ⁻¹)	TR (°C)	FR (mov min ⁻¹)	TR (°C)
Mínimo	32	37	32	36,1	32	36
Máximo	92	40	104	39,5	104	39,4
Média	58,9	38,5	57,7	38,4	57,4	38,4

Os dados fisiológicos obtidos em clima subtropical, no nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹, apresentaram uma amplitude de 60 mov min⁻¹ para frequência respiratória e de 3,0°C para temperatura retal. Já para os níveis de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ e maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ as amplitudes foram de 72 mov min⁻¹ e 3,4°C para a frequência respiratória e temperatura retal, respectivamente.

A FR apresentou o valor mínimo de 32 mov min⁻¹ nos três níveis de produção estudados. Já o valor máximo foi de 92 mov min⁻¹ no nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹, com uma média de 58,9 mov min⁻¹. Nos níveis de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ e maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, a FR máxima foi de 104 mov min⁻¹, com média de 57,7 mov min⁻¹ e 57,4 mov min⁻¹, respectivamente.

A TR variou do mínimo de 37°C ao máximo de 40,0°C, com média de 38,5°C, no nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹. Os animais com produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ apresentaram mínimo de 36,1°C e máximo de 39,5°C, com média de 38,4°C. Já os animais com níveis de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, apresentaram mínimo de 36°C e máximo de 39,4°C, com média de 38,4°C.

4.2.2.2 Descrição dos dados utilizados no ambiente 2 (clima mediterrâneo)

Na Tabela 10 é apresentada a média e os valores extremos (mínimo e máximo) do índice de temperatura e umidade (ITU), temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa do ar (UR), observados no ambiente 2.

Tabela 10 - Valor mínimo, máximo e média do índice de temperatura e umidade (ITU), temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa do ar (UR) para os dados do ambiente 2

Variável	Tbs (°C)	UR (%)	ITU
Mínimo	19,5	19,3	66,3
Máximo	38,2	78,1	85,8
Média	29,3	41,4	75,4

Assim como no ambiente 1, no ambiente 2 as variáveis climáticas e o índice de conforto térmico obtidos em clima subtropical, apresentaram uma alta amplitude, sendo encontrado os valores de 18,7°C (mínimo de 19,5°C e máximo de 38,2°C), 58,8% (mínimo de 19,3% e máximo de 78,1%), e 19,5 (mínimo de 66,3 e máximo de 85,8), para a Tbs, UR e ITU, respectivamente. A média de Tbs foi de 29,3°C, da UR 41,4% e do ITU 75,4.

No nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹, trabalhou-se com um total de 240 observações, sendo 29 classificadas na classe de sensação de conforto térmico muito bom, 106 como sensação de conforto térmico bom, 79 como regular e 26 ruim. No nível de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, trabalhou-se com 105 observações, sendo 31 classificadas na classe de sensação de conforto térmico muito bom, 26 como sensação de conforto térmico bom, 36 como regular e 12 ruim. Por fim, no nível de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, trabalhou-se com 181 observações, sendo 23 classificadas na classe de sensação de conforto térmico muito bom, 83 como sensação de conforto térmico bom, 49 como regular e 26 ruim.

Na Tabela 11 é apresentada a média e os valores extremos (mínimo e máximo) das variáveis fisiológicas frequência respiratória (FR) e temperatura retal (TR), observados no ambiente 2, nos níveis de produção estudados (menor que 20 L, entre 20 e 25 L, e maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹).

Tabela 11 - Valor mínimo, máximo e média das variáveis frequência respiratória (FR) e temperatura retal (TR) para os dados do ambiente 2, nos níveis de produção estudados

	Menor que 20 litros		Entre 20 e 25 litros		Maior que 25 litros	
Variável	FR (mov min ⁻¹)	TR (°C)	FR (mov min ⁻¹)	TR (°C)	FR (mov min ⁻¹)	TR (°C)
Mínimo	36	38	36	38	36	37,9
Máximo	104	39,6	88	40	104	39,3
Média	58,9	38,5	53,5	38,4	62,8	38,6

Observou-se uma amplitude de 52 mov min⁻¹ para a frequência respiratória no nível de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, e de 68 mov min⁻¹ nos outros dois níveis de produção. A amplitude da TR foi de 1,6°C, 2°C e 1,4°C para os níveis de produção menor que 20 L, entre 20 e 25 L e maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, respectivamente.

A FR apresentou o valor mínimo de 36 mov min⁻¹ nos três níveis de produção estudados. Já o valor máximo foi de 88 mov min⁻¹ no nível de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, com uma média de 53,5 mov min⁻¹. Nos níveis de produção menor que 20 L e maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, a FR máxima foi de 104 mov min⁻¹, com média de 58,9 e 62,8 mov min⁻¹, respectivamente.

A TR mínima foi de 38°C nos níveis de produção menor que 20 L e entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, e de 37,9°C no nível de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹. O máximo foi de 39,6°C, com média de 38,5°C, no nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹. Os animais com produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ apresentaram máximo de 40°C, com média de 38,4°C. Já os animais com níveis de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, apresentaram máximo de 39,3°C, com média de 38,6°C.

4.2.2.3 Algoritmo resultante da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para vacas em diferentes níveis de produção do ambiente 1

As saídas do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ambiente 1, nos níveis de produção estudados são apresentadas nos anexos 1, 2 e 3.

A Tabela 12 apresenta a precisão e o erro do modelo gerado nos níveis de produção estudados (menor que 20 L, entre 20 e 25 L, e maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹) no ambiente 1.

Tabela 12 – Precisão e erro do modelo gerado da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para os diferentes níveis de produção estudados no ambiente 1

Variável	Menor que 20 litros	Entre 20 e 25 litros	Maior que 25 litros
Precisão	91,3 %	90,4 %	89,8 %
Erro	8,7 %	9,6 %	10,2 %

De acordo com os resultados da Mineração de Dados nos três níveis de produção analisados o algoritmo testado apresentou uma elevada porcentagem de precisão, aproximadamente 90%, e baixa probabilidade de erro (cerca de 10%).

A Tabela 13 apresenta a precisão e a probabilidade de acertos das classes de conforto nos níveis de produção estudados (menor que 20 L, entre 20 e 25 L, e maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹) no ambiente 1.

Tabela 13 – Precisão e acertos das classes de conforto em função da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para os diferentes níveis de produção, no ambiente 1

Classes de conforto	Menor que 20 litros		Entre 20 e 25 litros		Maior que 25 litros	
	Precisão (%)	Acertos (%)	Precisão (%)	Acertos (%)	Precisão (%)	Acertos (%)
Muito Bom	90	81,8	85,9	89,8	89,2	87,9
Bom	85,2	100	51,4	47,4	82,4	81,2
Regular	94	88,8	84,6	71	79,3	83,9
Ruim	100	90	70	100	100	58,8

Através da análise da matriz de confusão observa-se que no nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹ a melhor precisão foi obtida na classe de conforto ruim (100%). Nas demais classes a precisão ficou em torno de 90%. A melhor porcentagem de acertos na análise dos dados foi observada na classe de conforto bom, com 100% dos dados analisados corretamente. Essa porcentagem foi de 90% na classe de conforto ruim, 88,8% na regular e 81,8% na muito bom, com erros de 10%, 11,2% e 18,2%, respectivamente.

No nível de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ a melhor precisão foi obtida na classe de conforto muito bom (100%). Nas demais classes a precisão ficou em torno de 85%. Já quanto a porcentagem de acertos na análise dos dados, observou-se que na classe de conforto muito bom 100% dos dados foram analisados corretamente. Essa porcentagem foi de 91,5%, 81,8% e 81% nas classes de conforto bom, regular e ruim, respectivamente, com erro respectivo de 8,5%, 18,2% e 19%.

Já no nível de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ novamente a melhor precisão foi obtida na classe de conforto muito bom (100%), seguida da regular (87,9%), da classe bom (84,2%) e finalmente pela classe ruim (75%). Quanto a porcentagem de acertos na análise dos dados, observou-se novamente 100% dos dados analisados

corretamente na classe de conforto muito bom. Essa porcentagem foi de 91,4%, 82,3% e 75% nas classes de conforto bom, regular e ruim, respectivamente, com erro respectivo de 8,6%, 17,7% e 25%.

O conjunto de regras obtidas para a base de dados no nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹ é:

- Regra 1: SE $T_{bs} \leq 28,5^{\circ}\text{C}$ e $UR \leq 49,9\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 2: SE $29,4^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 30,4^{\circ}\text{C}$ e $UR \leq 49,9\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 3: SE $24,8^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 28,8^{\circ}\text{C}$ e $UR > 49,9\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 4: SE $28,8^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 30,4^{\circ}\text{C}$ e $UR > 49,9\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 5: SE $30,4^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 34,4^{\circ}\text{C}$ e $UR > 35,7\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 6: SE $T_{bs} > 34,4^{\circ}\text{C}$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

Para o nível de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ o conjunto de regras obtidas para a base de dados é:

- Regra 1: SE $T_{bs} \leq 24,3^{\circ}\text{C}$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 2: SE $24,3^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 26^{\circ}\text{C}$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 3: SE $28,7^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 29,6^{\circ}\text{C}$ e $UR \leq 41,9\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 4: SE $28,7^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 29,2^{\circ}\text{C}$ e $UR > 41,9\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 5: SE $29,6^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 31,2^{\circ}\text{C}$ e $UR > 41,9\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 6: SE $31,2^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 31,9^{\circ}\text{C}$ e $UR > 41,9\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim;
- Regra 7: SE $33,1^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 34,4^{\circ}\text{C}$ e $21,2\% > UR \leq 39,9\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim;
- Regra 8: SE $T_{bs} > 34,9^{\circ}\text{C}$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

Para o nível de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ o conjunto de regras obtidas para a base de dados é:

- Regra 1: SE $T_{bs} \leq 25,4^{\circ}\text{C}$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 2: SE $25,4^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 27,8^{\circ}\text{C}$ e $UR \leq 35,7\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 3: SE $25,4^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 27,6^{\circ}\text{C}$ e $35,7\% > UR \leq 45,4\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 4: SE $25,4^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 27,6^{\circ}\text{C}$ e $45,4\% > UR \leq 57,8\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 5: SE $27,6^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 28,7^{\circ}\text{C}$ e $35,7\% > UR \leq 57,8\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 6: SE $28,7^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 29,1^{\circ}\text{C}$ e $UR > 54,8\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 7: SE $29,1^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 31,2^{\circ}\text{C}$ e $UR > 30\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 8: SE $T_{bs} > 33,1^{\circ}\text{C}$ e $UR \leq 21,6\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 9: SE $T_{bs} > 33,1^{\circ}\text{C}$ e $21,6\% > UR \leq 27\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 10: SE $T_{bs} > 33,1^{\circ}\text{C}$ e $UR > 27\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

4.2.2.4 Algoritmo resultante da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para vacas em diferentes níveis de produção do ambiente 2

As saídas do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ambiente 2, nos níveis de produção estudados são apresentadas nos anexos 4, 5 e 6.

A Tabela 14 apresenta a precisão e o erro do modelo gerado nos níveis de produção estudados (menor que 20 L, entre 20 e 25 L, e maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹) no ambiente 2.

Tabela 14 – Precisão e erro do modelo gerado da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para os diferentes níveis de produção estudados no ambiente 2

Variável	Menor que 20 litros	Entre 20 e 25 litros	Maior que 25 litros
Precisão	90,4 %	94,3 %	90,6 %
Erro	9,6 %	5,7 %	9,4 %

Os resultados da Mineração de Dados nos três níveis de produção analisados no ambiente 2 foram muito semelhantes aos encontrados no ambiente 1, sendo que o algoritmo testado apresentou porcentagem de precisão de aproximadamente 91%, e probabilidade de erro em torno de 9%.

A Tabela 15 apresenta a precisão e a probabilidade de acertos das classes de conforto nos níveis de produção estudados (menor que 20 L, entre 20 e 25 L, e maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹) no ambiente 2.

Tabela 15 – Precisão e acertos das classes de conforto em função da base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para os diferentes níveis de produção, no ambiente 2

Classes de conforto	Menor que 20 litros		Entre 20 e 25 litros		Maior que 25 litros	
	Precisão (%)	Acertos (%)	Precisão (%)	Acertos (%)	Precisão (%)	Acertos (%)
Muito Bom	94,4	58,6	76,5	83,9	63,6	60,8
Bom	85,7	96,2	78,3	69,2	89,3	90,4
Regular	94,7	91,1	100	88,9	97,8	89,8
Ruim	96,3	100	75	100	83,3	96,1

Através da análise da matriz de confusão observa-se que no nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹ a menor precisão foi obtida na classe de conforto bom (85,7%). Nas demais classes a precisão ficou em torno de 94%. A melhor porcentagem de acertos na análise dos dados foi observada na classe de conforto ruim, com 100% dos dados analisados corretamente. Essa porcentagem foi de 96,2% na classe de conforto bom, 91,1% na regular e 58,6% na muito bom, com erros de 3,8%, 8,9% e 41,4%, respectivamente.

No nível de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ observou-se que a melhor precisão foi obtida nas classes de conforto muito bom e ruim (100%), seguida da classe bom (96,4%) e da regular (79,2%). Já quanto a porcentagem de acertos na análise dos dados, observou-se que na classe de conforto muito bom 100% dos dados foram

analisados corretamente. Essa porcentagem foi de 95%, 93,1% e 62,5% nas classes de conforto regular, bom e ruim, respectivamente, com erro respectivo de 5%, 6,9% e 37,5%.

No nível de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ observou-se que todas as classes apresentaram precisão próxima de 90%. Quanto a porcentagem de acertos na análise dos dados, observou-se 95,5% dos dados analisados corretamente na classe de conforto muito bom, 93,3% na classe de conforto bom, 85,7% na classe regular e 85,2% na ruim com erro de 4,5%, 6,9%, 4,3% e 4,8%, respectivamente.

O conjunto de regras obtidas para a base de dados no nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹ é:

- Regra 1: SE $T_{bs} \leq 22,7^{\circ}\text{C}$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 2: SE $24,5^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 26^{\circ}\text{C}$ e $UR \leq 40,8\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 3: SE $24,5^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 26^{\circ}\text{C}$ e $UR > 40,8\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 4: SE $30,2^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 31,9^{\circ}\text{C}$ e $UR \leq 34,5\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 5: SE $30,2^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 31,9^{\circ}\text{C}$ e $UR > 34,5\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 6: SE $T_{bs} > 31,9^{\circ}\text{C}$ e $UR \leq 25,3\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 7: SE $T_{bs} > 37,4^{\circ}\text{C}$ e $UR > 25,3\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

No nível de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ o conjunto de regras obtidas para a base de dados é:

- Regra 1: SE $30,5^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 31,6^{\circ}\text{C}$ e $UR \leq 28\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 2: SE $30,5^{\circ}\text{C} > T_{bs} \leq 31,6^{\circ}\text{C}$ e $UR > 28\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 3: SE $T_{bs} > 31,6^{\circ}\text{C}$ e $UR \leq 26,1\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 4: SE $T_{bs} > 31,6^{\circ}\text{C}$ e $UR > 26,1\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

Para o nível de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ o conjunto de regras obtidas para a base de dados é:

- Regra 1: SE $T_{bs} \leq 31,9^{\circ}\text{C}$ e $UR \leq 33,6\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 2: SE $T_{bs} \leq 31,9^{\circ}\text{C}$ e $UR > 33,6\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 3: SE $T_{bs} \leq 28,8^{\circ}\text{C}$ e $36,4\% > UR \leq 64,2\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 4: SE $T_{bs} > 28,8^{\circ}\text{C}$ e $36,4\% > UR \leq 64,2\%$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 5: SE $T_{bs} > 34,9^{\circ}\text{C}$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

Os resultados encontrados nos três níveis de produção estudados, em clima subtropical e em clima mediterrâneo, são semelhantes entre si, e aos resultados do algoritmo resultante da base de dados do rebanho total, observando-se que ambientes com temperatura acima de 34°C já podem ser considerados altamente estressantes e que o limite superior da zona de termoneutralidade (ZTN) situa-se próximo dos 26°C de temperatura de bulbo seco, diferindo da recomendação de Baccari Júnior (1998) e ficando próximo ao sugerido por Berman et al. (1985), Huber (1990), Baêta e Souza (1997), Fuquay (1997), e Pennington e Vandevender (2005). Os resultados ressaltam a importância da análise conjunta das variáveis climáticas temperatura de bulbo seco e umidade relativa na análise do conforto térmico animal, concordando com Sota (1996).

4.2.2.5 Algoritmo resultante da base de dados do índice de temperatura e umidade para vacas em diferentes níveis de produção do ambiente 1

As saídas do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados do índice de temperatura e umidade do ambiente 1, nos níveis de produção estudados são apresentadas nos anexos 7, 8 e 9.

A Tabela 16 apresenta a precisão e o erro do modelo gerado nos níveis de produção estudados (menor que 20 L, entre 20 e 25 L, e maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹) no ambiente 1.

Tabela 16 – Precisão e erro do modelo gerado da base de dados do índice de temperatura e umidade para os diferentes níveis de produção estudados no ambiente 1

Variável	Menor que 20 litros	Entre 20 e 25 litros	Maior que 25 litros
Precisão	85,8 %	86,6 %	88,7 %
Erro	14,2 %	13,4 %	11,3 %

De acordo com os resultados da Mineração de Dados nos três níveis de produção analisados o algoritmo testado apresentou precisão em torno de 85% e probabilidade de erro de aproximadamente 15%.

A Tabela 17 apresenta a precisão e a probabilidade de acertos das classes de conforto nos níveis de produção estudados, no ambiente 1.

Tabela 17 – Precisão e acertos das classes de conforto em função da base de dados do índice de temperatura e umidade para os diferentes níveis de produção estudados, no ambiente 1

Classes de conforto	Menor que 20 litros		Entre 20 e 25 litros		Maior que 25 litros	
	Precisão (%)	Acertos (%)	Precisão (%)	Acertos (%)	Precisão (%)	Acertos (%)
Muito Bom	81,3	86,7	96,9	81,8	91	97,3
Bom	74,4	76,3	61,4	77,1	88	73,3
Regular	89,7	86,7	90,8	92	89	86,7
Ruim	96	96	91,7	100	70	87,5

Através da análise da matriz de confusão observa-se que no nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹ a melhor precisão foi obtida na classe de conforto ruim (96%), seguida da regular (89,7%), da muito bom (81,3%) e da classe bom (74,4%). Da mesma forma, a melhor porcentagem de acertos na análise dos dados foi observada na classe de conforto ruim, com 96% dos dados analisados corretamente. Essa porcentagem foi de 86,7% nas classes de conforto regular e muito bom e de 76,3% na classe bom, com erros de 13,3% e 23,7%, respectivamente.

No nível de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ observou-se que a melhor precisão foi obtida na classe de conforto muito bom (96,9%), seguida da ruim (91,7%), da regular (90,8%) e da classe bom (61,4%). Já a porcentagem de acertos na análise dos dados foi maior na classe de conforto ruim, com 100% dos dados analisados corretamente. Essa porcentagem foi de 92% na classe de conforto regular, de 81,8% na classe muito bom, e de 77,1% na classe bom.

No nível de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ observou-se que a pior precisão foi obtida na classe de conforto ruim, com o valor de 70%. Nas demais classes essa porcentagem foi de aproximadamente 90%. Quanto a porcentagem de acertos na análise dos dados o melhor valor foi encontrado na classe de conforto muito bom, com 97,3% dos dados analisados corretamente. Essa porcentagem de acertos foi de aproximadamente 87% nas classes regular e ruim e de 73,3% na classe bom.

O conjunto de regras obtidas para a base de dados no nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹ é:

- Regra 1: SE $ITU \leq 71,4$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 2: SE $71,4 > ITU \leq 76,8$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 3: SE $76,8 > ITU \leq 79,1$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 4: SE $ITU > 79,1$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

Para o nível de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ o conjunto de regras obtidas para a base de dados é:

- Regra 1: SE $ITU \leq 72,3$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 2: SE $72,3 > ITU \leq 77,4$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 3: SE $77,4 > ITU \leq 81$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 4: SE $ITU > 81$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

O conjunto de regras obtidas para a base de dados no nível de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ é:

- Regra 1: SE $ITU \leq 72,7$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 2: SE $72,7 > ITU \leq 77$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 3: SE $77 > ITU \leq 80,6$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 4: SE $ITU > 80,6$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

4.2.2.6 Algoritmo resultante da base de dados do índice de temperatura e umidade para vacas em diferentes níveis de produção do ambiente 2

As saídas do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados do índice de temperatura e umidade do ambiente 2, nos níveis de produção estudados são apresentadas nos anexos 10, 11 e 12.

A Tabela 18 apresenta a precisão e o erro do modelo gerado nos níveis de produção estudados, no ambiente 2.

Tabela 18 – Precisão e erro do modelo gerado da base de dados do índice de temperatura e umidade para os diferentes níveis de produção estudados no ambiente 2

Variável	Menor que 20 litros	Entre 20 e 25 litros	Maior que 25 litros
Precisão	80,4 %	84,8 %	84 %
Erro	19,6 %	15,2 %	16 %

Os resultados da Mineração de Dados nos três níveis de produção analisados no ambiente 2 foram muito semelhantes aos encontrados no ambiente 1, sendo que o algoritmo testado apresentou porcentagem de precisão de aproximadamente 84%, e probabilidade de erro em torno de 16%.

A Tabela 19 apresenta a precisão e a probabilidade de acertos das classes de conforto nos níveis de produção estudados, no ambiente 2.

Através da análise da matriz de confusão observa-se que no nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹ a melhor precisão foi obtida na classe de conforto regular (100%), seguida da ruim (93,3%), da muito bom (85,7%) e finalmente pela classe bom (63,9%). Já a melhor porcentagem de acertos na análise dos dados foi observada na classe de conforto ruim, com 100% dos dados analisados corretamente. Essa porcentagem foi de 94,7% na classe bom, 82% na regular e 50,8% na muito bom.

Tabela 19 – Precisão e acertos das classes de conforto em função da base de dados do índice de temperatura e umidade para os diferentes níveis de produção estudados, no ambiente 2

Classes	Menor que 20 litros		Entre 20 e 25 litros		Maior que 25 litros	
de conforto	Precisão (%)	Acertos (%)	Precisão (%)	Acertos (%)	Precisão (%)	Acertos (%)
Muito Bom	85,7	50,8	75	100	100	55,6
Bom	63,9	94,7	100	51,7	67,4	100
Regular	100	82	100	95	100	81,6
Ruim	93,3	100	100	100	100	100

No nível de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ observou-se 100% de precisão nas classes de conforto bom, regular e ruim. Já na classe muito bom essa precisão foi de 75%. Quanto a porcentagem de acertos na análise dos dados, observou-

se que nas classes de conforto muito bom e ruim 100% dos dados foram analisados corretamente. Essa porcentagem foi de 95% na classe regular, e de 51,7% na classe bom, com erro de 5% e 48,3%, respectivamente.

No nível de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ observou-se 100% de precisão nas classes de conforto muito bom, regular e ruim. Já na classe bom essa precisão foi de 67,4%. Quanto a porcentagem de acertos na análise dos dados, observou-se que nas classes de conforto bom e ruim 100% dos dados foram analisados corretamente. Essa porcentagem foi de 81,6% na classe regular, e de 55,6% na classe muito bom, com erro de 18,4% e 44,4%, respectivamente.

O conjunto de regras obtidas para a base de dados no nível de produção menor que 20 L animal⁻¹ dia⁻¹ é:

- Regra 1: SE $ITU \leq 69,1$ ENTÃO o estado de conforto térmico é muito bom;
- Regra 2: SE $69,1 > ITU \leq 77,2$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 3: SE $77,2 > ITU \leq 79,9$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 4: SE $ITU > 79,9$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

Para o nível de produção entre 20 e 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ o conjunto de regras obtidas para a base de dados é:

- Regra 1: SE $ITU \leq 77,2$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 2: SE $77,2 > ITU \leq 79,9$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 3: SE $ITU > 79,9$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

O conjunto de regras obtidas para a base de dados no nível de produção maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹ é:

- Regra 1: SE $ITU \leq 76,9$ ENTÃO o estado de conforto térmico é bom;
- Regra 2: SE $76,9 > ITU \leq 79,9$ ENTÃO o estado de conforto térmico é regular;
- Regra 3: SE $ITU > 79,9$ ENTÃO o estado de conforto térmico é ruim.

De acordo com os resultados da Mineração de Dados nas duas formas de análise, ou seja, com a base de dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa e com a base de dados do índice de temperatura e umidade, em todos os níveis de produção estudados o algoritmo testado apresentou, na maior parte dos casos, medidas de desempenho bastante relevantes no que diz respeito a sua performance para trabalhar com o tipo de conjunto de dados estudado. Não constatou-se grandes

diferenças entre os níveis de produção estudados, sendo observado uma elevada porcentagem de instâncias classificadas corretamente, e baixa porcentagem classificadas incorretamente. A distribuição da acurácia (*precision*) por classe de conforto na grande maioria dos casos apresentou valores elevados, e ainda a matriz de confusão apresentou-se, na maioria das vezes, bastante consistente, com poucas instâncias fora da diagonal principal, confirmando o bom desempenho do algoritmo e indicando uma alta capacidade do modelo em representar as classes de conforto para o conjunto de dados.

Na análise dos resultados obtidos no ambiente 1, através da utilização da técnica de Mineração de Dados, tendo como base um conjunto de dados fisiológicos e climáticos, verificou-se que a diferença entre os valores críticos do ITU para os diferentes grupos de animais separados em função da produção de leite foi muito pequena. Além disso, os limites de conforto e estresse do ITU encontrados para os três grupos de produção de leite estudados estão próximos aos encontrados quando trabalhou-se com a base de dados do rebanho total, onde foi observada uma condição normal de conforto quando se observou valores do ITU abaixo de 77,1 e uma condição estressante acima de 80,3, demonstrando que a técnica extrai conhecimento de maneira a adequar os valores de ITU como foi demonstrado nos trabalhos desenvolvidos por Martello (2002), Perissinotto (2003) e Matarazzo (2004).

Assim como observado no ambiente 1, no ambiente 2 não houve diferença considerável dos valores críticos de ITU para os diferentes grupos de animais separados em função da produção de leite. Os resultados encontrados estão próximos dos encontrados com a base de dados do rebanho total. No ambiente 2 constatou-se um valor de 77,2 como limite de conforto e 79,9 de estresse, diferindo dos limites do ITU propostos por Hahn (1985), Du Preez et al. (1990), Igono et al. (1992), USDC-ESSA (1970) *apud* Nienaber e Hahn (2004) e Rosenberg et al. (1983) e concordando com Martello (2002) e Matarazzo (2004).

Os resultados obtidos com esta etapa da análise dos dados podem ser usados no gerenciamento de informações, na tomada de decisão, e no controle do processo de climatização das instalações. A Mineração dos Dados possibilitou a descoberta de relacionamentos entre dados e forneceu subsídios para que possa ser feita uma

previsão de tendências futuras baseadas no passado (BERRY e LINOFF, 1997).

Após o ciclo principal do processo de Mineração de Dados o conhecimento extraído foi consolidado na fase de aplicação da base de conhecimento, sendo incorporado a um sistema inteligente como apoio a um processo de tomada de decisão. A seguir serão apresentados os resultados da classificação do estado de conforto térmico utilizando a Mineração de Dados que serão utilizados para a modelagem do sistema inteligente, baseado em lógica *fuzzy*.

4.3 Construção de cenários da classificação do estado de conforto térmico

Como foi observado na análise dos dados que não houve diferença considerável entre os valores críticos das variáveis estudadas para os diferentes grupos de animais separados em função da produção de leite, ou seja, entre vacas com produção menor que 20 L, de 20 a 25 L e maior que 25 L animal⁻¹ dia⁻¹, foram utilizadas as regras obtidas na Mineração dos Dados com a base de dados total do rebanho para a avaliação do conforto animal através da lógica *fuzzy*.

As variáveis de entrada para os dados meteorológicos constituem intervalos de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%), de acordo com as condições de conforto para bovinos leiteiros. Todas as classificações foram desenvolvidas de acordo com os resultados obtidos na fase de Mineração de Dados. Para a variável temperatura (°C), considerou-se o domínio no intervalo [15; 45], nas temperaturas < 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 e > 36. Para a variável umidade relativa (%) considerou-se o domínio do intervalo [0; 100], nas umidades < 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e > 90. Estes intervalos foram considerados tanto para o ambiente 1 como para o ambiente 2.

Após a normalização em um universo de discurso padronizado estes valores foram *fuzzificados*, com a transformação das entradas em conjuntos *fuzzy* equivalentes para que pudessem se tornar instâncias das variáveis linguísticas. O objetivo foi a obtenção de um único valor numérico discreto que melhor representasse os valores *fuzzy* inferidos da variável linguística de saída, ou seja, a distribuição de possibilidades. As classificações foram formuladas através da organização da base de dados disponível, com o objetivo de obter as informações das Tabelas 20 e 21.

Com base nos dados apresentados neste trabalho, em relação aos limites de conforto ambiental, criou-se um cenário que caracterizam uma base de regras com as definições de pertinência dos termos nebulosos, num domínio $[0, 1]$. Desta maneira, os termos linguísticos da variável de saída foram atribuídos com os termos ruim, regular, bom, e muito bom, de acordo com as faixas 0-0,25; 0,25-0,5; 0,5-0,75; e 0,75-1, respectivamente, como pode ser visto nas Tabelas 20 e 21.

Para a formação do cenário proposto, foi necessário a construção de um banco regras, que relacionaram as variáveis de entrada e saída através de afirmações do tipo: “SE <condicional> e <condicional> ENTÃO <consequente>”. Os blocos de regras contêm o controle estratégico da lógica *fuzzy*. Cada bloco de regras confina todas as regras para um mesmo contexto. Um contexto é definido pelas mesmas regras nos indicadores de entrada e de saída. A parte da regra “se” descreve a situação, para a qual a regra é designada. A parte “então” descreve a resposta do sistema *fuzzy* nesta situação. Como exemplo: se <TBS é 23> e <UR é 80> então <conforto térmico é muito bom>.

As variáveis de entrada para os dados fisiológicos constituem intervalos de temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$) e frequência respiratória (mov min^{-1}), de acordo com as condições de conforto para bovinos leiteiros. As classificações foram desenvolvidas de acordo com a literatura. Para a variável temperatura retal, considerou-se o domínio no intervalo $[37; 40]$, representando as faixas $< 38,8^{\circ}\text{C}$ (conforto alto); $38,8 - 39,2^{\circ}\text{C}$ (conforto médio); e $> 39,2^{\circ}\text{C}$ (conforto baixo). Para a variável frequência respiratória considerou-se o domínio do intervalo $[28; 108]$, representando as faixas $< 56 \text{ mov min}^{-1}$ (conforto alto); $56 - 64 \text{ mov min}^{-1}$ (conforto médio); e $> 64 \text{ mov min}^{-1}$ (conforto baixo). Estes intervalos foram considerados tanto para o ambiente 1 como para o ambiente 2.

Os termos linguísticos da variável de saída foram atribuídos com os termos ruim, regular, bom, e muito bom, como pode ser visto na Tabelas 22. Como exemplo do banco regras formado podemos citar: se <TR conforto alto> e <FR conforto alto> então <conforto térmico é muito bom>.

Tabela 22 - Classificação do estado de conforto térmico nos ambientes estudados como função da temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$) e da frequência respiratória (mov min^{-1})

Temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$)	Frequência respiratória (mov min^{-1})		
	Conforto alto (≤ 56)	Conforto médio (56–64)	Conforto baixo (> 64)
Conforto alto ($\leq 38,8$)	Muito bom (1,0)	Bom (1,0)	Regular (0,5)
Conforto médio (38,8-39,2)	Bom (1,0)	Regular (1,0)	Ruim (1,0)
Conforto baixo ($> 39,2$)	Regular (0,5)	Ruim (1,0)	Ruim (1,0)

Uma outra situação estudada foi a análise concomitante das variáveis independentes índice de temperatura e umidade, temperatura retal e frequência respiratória. Os intervalos das variáveis de entrada para os dados fisiológicos temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$) e frequência respiratória (mov min^{-1}) foram os mesmos citados anteriormente para a classificação do estado de conforto térmico como função apenas das variáveis fisiológicas.

As variáveis de entrada para o índice de temperatura e umidade foram atribuídas com os termos ruim, regular, bom, e muito bom, sob o domínio no intervalo [66,3; 85,8]. Para o ambiente 1, as faixas representadas para o ITU foram < 72 , 72 - 77,1; 77,1 - 80,3; e $> 80,3$. Para o ambiente 2, o ITU foi dividido nas faixas $< 71,4$, 71,4 - 77,2; 77,2 - 79,9. Todas as classificações foram desenvolvidas de acordo com os resultados obtidos na fase de Mineração de Dados.

Os termos linguísticos da variável de saída foram atribuídos com os termos ruim, regular, bom, e muito bom. As regras para a classificação do estado de conforto térmico no ambiente 1 e no ambiente 2 como função do índice de temperatura e umidade, temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$) e frequência respiratória (mov min^{-1}) estão no anexo 13. Como exemplo: se $<\text{ITU ruim}>$ e $<\text{TR conforto baixo}>$ e $<\text{FR conforto baixo}>$ então $<\text{conforto térmico é ruim}>$.

4.3.1 Sistema Inteligente

Visando atender as exigências do mercado e as necessidades dos animais no que diz respeito ao bem-estar, na segunda fase de análise dos dados o conhecimento adquirido com a Mineração de Dados e transformado em uma base de regras foi utilizado para a modelagem do sistema inteligente, que foi baseado em lógica *fuzzy*. O *software* utilizado foi o *Fuzzy Logic Toolbox* do MATLAB® 6.1.

4.3.1.1 Classificação *fuzzy* do estado de conforto térmico como função da temperatura e da umidade relativa do ar

Para a variável temperatura (°C), considerou-se o domínio no intervalo [15, 45], representando as temperaturas < 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 e > 36. Para a variável umidade relativa (%) considerou-se o domínio do intervalo [0, 100], representando as umidades < 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e > 90.

O método de inferência ou *fuzzificação* utilizado foi o Método de Mandani que combina os graus de pertinência referentes a cada um dos valores de entrada através do operador mínimo e agrega as regras através do operador máximo. Desta forma, a saída deste método é o conjunto *fuzzy*, com as definições de pertinência dos termos nebulosos num domínio [0, 1]. Desta maneira, os termos linguísticos da variável de saída foram atribuídos com os termos ruim, regular, bom, e muito bom (Tabelas 20 e 21), de acordo com as faixas 0-0,25; 0,25-0,5; 0,5-0,75; e 0,75-1, respectivamente, como pode ser visto nas Figuras 19 e 20.

Os resultados da *defuzzificação* foram calculados com a aplicação do método do centro de gravidade. Cada regra foi combinada e o resultado numérico, gerado através do método do centro de gravidade, foi *defuzzificado*, indicando uma possível ocorrência de estresse ou não. Desta forma existe uma tomada de decisão através dos valores obtidos e a visualização da base de regras, sabendo que desta maneira pode-se simular situações entre as variáveis de entrada, ou seja, variáveis independentes (umidade relativa e temperatura do ar) e ter uma resposta da variável de saída, que é a variável dependente (conforto térmico animal), evidenciada nas Figuras 19 e 20.

A Figura 18 ilustra a base de regras no MatLab® com a situação de conforto

térmico obtido com os dados médios de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa do ar encontradas no ambiente 1. A partir dessa base de regras, obteve-se o gráfico tridimensional ilustrado na Figura 19, através do qual é possível visualizar a sensação de conforto térmico animal como variável dependente e a umidade relativa e a temperatura do ar como variáveis independentes.

Figura 18 – Base de regras com a situação média de temperatura e umidade

Nas Figuras 19 e 20, observa-se o gráfico tridimensional com a variação não linear de todas as situações possíveis de conforto térmico consideradas nesta pesquisa, como função da umidade relativa e da temperatura do ar.

Da mesma forma feita para o ambiente 1, para o ambiente 2, no estudo das variáveis independentes umidade relativa e temperatura do ar, formou-se uma base de regras, a partir da qual foi possível a obtenção da Figura 20.

De acordo com as Figuras 19 e 20 é possível observar através da cor do gráfico que quanto mais próximas da zona de conforto, mais as cores tendem ao amarelo e quanto mais as variáveis de entrada se afastam das faixas de conforto, mais azuis ficam no gráfico. Neste caso a sensação de conforto térmico é baixa.

Desta forma, observa-se que os valores de temperatura e umidade apresentam-se, como resultado da inferência, em um valor α , no intervalo $[0, 1]$, o que representa a

sensação de conforto térmico dos bovinos leiteiros da raça Holandesa em lactação em condição de confinamento total.

Figura 19 – Estimativa do estado de conforto térmico no ambiente 1 como função da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%)

Figura 20 - Estimativa do estado de conforto térmico no ambiente 2 como função da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%)

Segundo a classificação *fuzzy* mostrada nas Figuras 19 e 20 quando a temperatura do ar, tanto em climas subtropicais como em climas mediterrâneos, for menor ou igual a 22°C o ambiente térmico se apresentará muito confortável termicamente aos animais. Na faixa de temperatura entre 23°C e 26°C o animal ainda não irá experimentar estresse térmico e a sensação de conforto irá variar entre muito boa e boa, em função dos valores da umidade relativa do ar.

Segundo as Figuras 19 e 20, a primeira possibilidade da ocorrência de estresse pelo calor ocorre a 27°C, desde que a umidade relativa se encontre maior a 90%, sendo, nessas condições, a sensação de conforto considerada como regular. Nesta temperatura, e com a UR compreendida na faixa de 40 a 80% a condição de conforto pode ser considerada como boa. Abaixo de 30% de UR considera-se o conforto como sendo muito bom.

Uma pequena diferença entre os dois ambientes estudados pode ser notada no limite de temperatura em que ainda é possível encontrar condições ambientais que proporcionam uma sensação de conforto térmico muito boa para os animais. No ambiente 1 essa temperatura foi de 29°C e no ambiente 2 de 28°C, porém, nos dois locais de estudo, esse conforto muito bom está restrito a ocorrência de UR inferiores a 20%. Observa-se, também, que na faixa de temperatura entre 28°C e 29°C, a possibilidade da ocorrência de estresse térmico começa a aumentar drasticamente, sendo que, um conforto regular já poderá ser detectado quando a UR atingir valores superiores a 60%.

Condições térmicas que podem proporcionar estresse térmico elevado (conforto ruim) podem ser observadas quando a temperatura estiver acima de 30°C no ambiente 1 e 29°C no ambiente 2, desde que, sejam acompanhadas de altos valores de umidade relativa do ar, maior a 80% e 90%, respectivamente.

De acordo com as Figuras 19 e 20, em ambientes com temperatura na faixa de 30°C a 33°C um conforto térmico classificado como bom só é possível caso a umidade relativa apresente-se abaixo de 40%. Observa-se, também, que acima de 31°C de temperatura a possibilidade do animal estar experimentando estresse térmico elevado é muito grande. Portanto, nos dois ambientes estudados, pode-se considerar a temperatura de 30°C como limite para que seja possível detectar um bom estado de

conforto térmico. A partir dessa temperatura do ar o estado de conforto dos animais só poderá ser classificado como regular ou ruim, porém, em climas subtropicais e em mediterrâneos, acima de 34°C de Tbs a UR deixa de ser importante e, independente do valor dessa variável, a sensação de conforto térmico dos animais pode ser considerada como ruim.

Os resultados encontrados estão de acordo com Sota (1996) que destaca a importância da análise conjunta das variáveis climáticas temperatura de bulbo seco e umidade relativa na análise do conforto térmico animal. Os limites de conforto e estresse concordam com os sugeridos por Berman et al. (1985), Huber (1990), Baêta e Souza (1997), Fuquay (1997), e Pennington e Vandevender (2005). Porém, por outro lado, diferem da recomendação de Baccari Júnior (1998).

A utilização de sistemas naturais e artificiais para o controle eficiente do ambiente em situações de altas temperaturas no interior das instalações se faz necessário pois, nestas condições, o ambiente térmico representa um fator de restrição para a eficiência máxima de produção, principalmente nos sistemas intensivos, pois pode alterar negativamente as respostas no que diz respeito as principais variáveis fisiológicas utilizadas como indicadores de estresse térmico em animais, que são a frequência respiratória e a temperatura corporal (BACCARI JÚNIOR, 1998) e, também, pode haver uma diminuição no consumo de alimentos (matéria seca) e conseqüente redução na ingestão de energia metabolizável, reduzindo a produção, minimizando o desbalanço térmico e mantendo a homeostase (HUBER, 1990).

4.3.1.1.1 Simulação da classificação *fuzzy* do estado de conforto térmico como função da temperatura e da umidade relativa do ar

Como simulação, utilizou-se a média diária das variáveis climáticas Tbs e UR encontradas durante o período experimental e ilustradas na Tabela 4. No ambiente 1, a observação do índice para os dados de temperatura e umidade relativa médias (24,5°C e 62,7%), máximas (31°C e 84,2%) e mínimas (18,7°C e 39,2%), a partir da base de regras estabelecidas, caracterizaram uma condição de conforto bom (índice 0,725), ruim (índice 0,125) e muito bom (índice 0,85), respectivamente. No caso do ambiente 2 a observação do índice para os dados de temperatura e umidade relativa médias (24,2°C

e 57%), máximas (32,1°C e 83,9%) e mínimas (16°C e 31,7%), caracterizaram uma condição de conforto muito bom (índice 0,85), ruim (índice 0,125) e muito bom (índice 0,85), respectivamente.

4.3.1.2 Classificação *fuzzy* do estado de conforto térmico como função da temperatura retal e da frequência respiratória

As variáveis de entrada para os dados fisiológicos constituem intervalos de temperatura retal (°C) e frequência respiratória (mov min⁻¹), de acordo com as condições de conforto para bovinos leiteiros, desenvolvidas de acordo com a literatura. Para a variável temperatura retal, considerou-se o domínio no intervalo [37; 40], representando as faixas < 38,8°C (conforto alto); 38,8 – 39,2°C (conforto médio); e > 39,2°C (conforto baixo). Para a variável frequência respiratória considerou-se o domínio do intervalo [28; 108], representando as faixas < 56 mov min⁻¹ (conforto alto); 56 – 64 mov min⁻¹ (conforto médio); e > 64 mov min⁻¹ (conforto baixo). Estes intervalos foram considerados tanto para o ambiente 1 como para o ambiente 2 e os termos linguísticos da variável de saída foram atribuídos com os termos ruim, regular, bom, e muito bom (Tabela 22).

O estudo da relação entre as variáveis independentes temperatura retal e frequência respiratória e a variável dependente sensação de conforto térmico animal, com a saída com as definições de pertinência dos termos nebulosos num domínio [0, 1] para os ambientes estudados, pode ser vista na Figura 21, onde observa-se o gráfico tridimensional com a variação não linear de todas as situações possíveis de conforto térmico consideradas nesta pesquisa, como função da temperatura retal e da frequência respiratória, que foi gerada a partir da base de regras estabelecida, resultando nas diferentes situações de sensação de conforto térmico.

De acordo com a Figura 21 quanto mais as variáveis de entrada se afastam das faixas de conforto térmico para os animais, mais as cores tendem ao amarelo e quanto mais próximo da zona de conforto mais azul fica o gráfico.

Figura 21 - Estimativa do estado de conforto térmico como função da temperatura retal e da frequência respiratória, segundo a classificação *fuzzy*

O cruzamento dos dados fisiológicos temperatura retal e frequência respiratória permitiu, através da classificação *fuzzy*, que se chegasse a conclusão que a observação de valores simultâneos de TR e a FR, menores ou iguais a 38,7°C e a 54 mov min⁻¹ respectivamente, indicam um estado de conforto térmico dos animais muito bom. Nos casos em que a TR estiver na faixa de 38,7 a 39,2°C, quando a FR for menor ou igual a 54 mov min⁻¹, e em que a FR estiver na faixa de 54 a 66 mov min⁻¹, quando a TR for menor ou igual a 38,7°C, a sensação de conforto poderá ser classificação como boa, concordando com Hahn et al. (1997), segundo o qual uma frequência respiratória correspondente a 60 mov min⁻¹ indica animais com ausência de estresse térmico ou este é mínimo. Os resultados também estão de acordo com Perissinotto (2003), que não observou sinais de estresse térmico a valores médios de frequência respiratória por volta de 55 mov min⁻¹ para vacas submetidas à climatização, e com Martello (2006), que encontrou valores de frequência respiratória durante os períodos mais quentes de primavera e verão de 50 e 58 mov min⁻¹, respectivamente, sem constatar estresse térmico.

Já quando a FR for maior a 66 mov min⁻¹ ao mesmo tempo em que a TR for maior a 38,7°C, o conforto poderá ser classificado como ruim. Porém, caso a FR registre

valores superiores a 66 mov min^{-1} e a TR valores menores a $38,7^{\circ}\text{C}$ a sensação de conforto será regular. Do mesmo modo, uma TR com valores acima de $39,2^{\circ}\text{C}$ poderá provocar um estado de conforto ruim, caso a FR apresente-se maior a 54 mov min^{-1} . Porém, valores de FR menores a 54 mov min^{-1} sendo registrados ao mesmo tempo que valores de TR maiores a $39,2^{\circ}\text{C}$ poderão estar representando uma sensação de conforto térmico regular. Um estado de conforto térmico regular também poderá ocorrer caso a FR apresente-se na faixa de 54 a 66 mov min^{-1} simultaneamente a valores de TR na faixa de $38,7$ a $39,2^{\circ}\text{C}$.

Em ambientes estressantes termicamente a quantidade de calor produzida no organismo, ou por ele absorvida, é maior que a quantidade liberada para o ambiente, quebrando o equilíbrio entre o ganho e a perda de calor do corpo, elevando a temperatura corporal (BACCARI JÚNIOR, 2001; MOTA, 1997).

4.3.1.2.1 Simulação da classificação *fuzzy* do estado de conforto térmico como função da temperatura retal e da frequência respiratória

No ambiente 1, os valores médios da temperatura retal e da frequência respiratória foram, respectivamente, $38,4^{\circ}\text{C}$ e 58 mov min^{-1} , e a partir da base de regras estabelecidas, foi caracterizada uma condição de conforto classificada como boa, com o índice 0,6. A condição extrema máxima apresentou média de $38,6^{\circ}\text{C}$ para a temperatura retal e $62,6 \text{ mov min}^{-1}$ para a frequência respiratória, sendo a condição de conforto também caracterizada como boa, com o índice 0,589. Já para, a condição extrema mínima, que apresentou os valores médios de $38,1^{\circ}\text{C}$ e $49,4 \text{ mov min}^{-1}$ para o índice de temperatura e umidade e para a frequência respiratória, respectivamente, o índice encontrado foi de 0,85, caracterizando uma condição de conforto muito bom.

Já no ambiente 2, os valores médios da temperatura retal e da frequência respiratória foram, respectivamente, $38,5$ e $58,4 \text{ mov min}^{-1}$, e a partir da base de regras estabelecidas, foi caracterizada uma condição de conforto classificada como boa, com o índice 0,6. A condição extrema máxima apresentou média de $38,8^{\circ}\text{C}$ para a temperatura retal e $65,9 \text{ mov min}^{-1}$ para a frequência respiratória, sendo a condição de conforto caracterizada como ruim, com o índice 0,218. Já para, a condição extrema mínima, que apresentou os valores médios de $38,3^{\circ}\text{C}$ e $55,1 \text{ mov min}^{-1}$ para a temperatura retal e

para a frequência respiratória, respectivamente, o índice encontrado foi de 0,728, caracterizando uma boa condição de conforto térmico.

4.3.1.3 Classificação *fuzzy* do estado de conforto térmico como função do índice de temperatura e umidade, da temperatura retal e da frequência respiratória

No estudo concomitante das variáveis independentes índice de temperatura e umidade, temperatura retal e frequência respiratória os intervalos das variáveis de entrada para os dados fisiológicos temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$) e frequência respiratória (mov min^{-1}) foram os mesmos citados anteriormente para a classificação do estado de conforto térmico como função apenas das variáveis fisiológicas. Já as variáveis de entrada para o índice de temperatura e umidade foram atribuídos com os termos ruim, regular, bom, e muito bom, sob o domínio no intervalo [66,3; 85,8]. Para o ambiente 1, as faixas representadas para o ITU foram < 72 , $72 - 77,1$; $77,1 - 80,3$; e $> 80,3$. Para o ambiente 2, o ITU foi dividido nas faixas $< 71,4$, $71,4 - 77,2$; $77,2 - 79,9$.

A Figura 22 ilustra a base de regras no MatLab® com a situação de conforto térmico obtido com os dados médios da frequência respiratória, da temperatura retal e do índice de temperatura e umidade encontradas no ambiente 1.

Figura 22 – Base de regras com a situação média da frequência respiratória, da temperatura retal e do índice de temperatura e umidade

4.3.1.3.1 Simulação da classificação *fuzzy* do estado de conforto térmico como função do índice de temperatura e umidade, da temperatura retal e da frequência respiratória

Como simulação, utilizou-se a média diária do índice de temperatura e umidade e das variáveis fisiológicas (temperatura retal e frequência respiratória) encontradas durante o período experimental e ilustradas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente. No ambiente 1, a observação do índice *fuzzy* para os dados do índice de temperatura e umidade, temperatura retal e frequência respiratória médios (72,1, 34,4°C e 58 mov min⁻¹), máximos (77,9, 38,6°C e 62,6 mov min⁻¹) e mínimos (66, 38,1°C e 49,4 mov min⁻¹), a partir da base de regras estabelecidas, caracterizaram uma condição de conforto bom (índice 0,6), regular (índice 0,392) e muito bom (índice 0,85), respectivamente. No caso do ambiente 2, a observação do índice *fuzzy* para os dados do índice de temperatura e umidade, temperatura retal e frequência respiratória médios (71, 38,5°C e 58,4 mov min⁻¹), máximos (78,4, 38,8°C e 65,9 mov min⁻¹) e mínimos (62,1, 38,3°C e 55,1 mov min⁻¹), caracterizaram uma condição de conforto muito bom (índice 0,6), ruim (índice 0,165) e bom (índice 0,725), respectivamente.

O uso de técnicas especiais e ferramentas direcionadas para a tomada de decisão e ações mais precisas têm contribuído para o avanço e a velocidade das pesquisas em produção animal, uma vez que têm facilitado a aquisição e o tratamento de dados possibilitando análises mais apuradas. Ambas, a Mineração de Dados e a lógica *fuzzy*, além de auxiliarem a tomada de decisão, podem ser utilizadas na determinação de estratégias apropriadas, dando suporte ao produtor no gerenciamento, implantação de estratégias e controle dos processos da produção animal.

A classificação do estado de conforto térmico de bovinos leiteiros confinados através da lógica *fuzzy* permite que seja tomada uma decisão através dos valores obtidos e da visualização da base de regras, e torna possível simular situações entre as variáveis de entrada e que se tenha uma resposta da variável de saída.

Dessa forma, com a utilização do *software* MatLab[®], as regras, juntamente com os dados de entrada, foram processadas pelo procedimento de inferências, o qual infere a ação de controle de acordo com o conforto térmico dos animais, aplicando o operador de implicação e verificando o grau de compatibilidade global entre os fatos e cláusulas

nas premissas de regras, determinando o valor de conclusão e obtendo-se uma ação de controle geral. Neste contexto, a utilização da ferramenta permitiu estabelecer alguns parâmetros ideais de conforto aos bovinos leiteiros da raça Holandesa em lactação manejados em condição de confinamento total.

O objetivo do condicionamento ambiental é evitar que o animal necessite fazer ajustes em sua fisiologia ou comportamento para ajustar-se a aspectos adversos do seu ambiente e manejo, característica normal em situação de estresse (FRASER et al., 1975), e possa desenvolver seu sistema natural de comportamento e seu potencial produtivo em sua magnitude, sem que se altere os três processos vitais dos animais, ou seja, a manutenção, a reprodução e a produção (HEAD, 1995).

Sabe-se que, dentre outros fatores, a genética e as condições fisiológicas modelam a natureza da resposta biológica de um animal a um estressor (MOBERG, 1987), sendo a temperatura ótima dependente da espécie, raça, nível de produção, estágio fisiológico, plano nutricional e grau de tolerância ao calor e ao frio. Os resultados deste trabalho são baseados em associações específicas de fatores ambientais, que podem ser característicos dos locais ou das regiões estudadas, sendo assim, as conclusões aqui tiradas nem sempre poderão ser aplicados a outros animais nem utilizados em regiões com características climáticas diferentes das estudadas sem que seja feita uma adaptação, que, segundo Silva (2000), vem a ser a maior dificuldade para uso generalizado de qualquer índice.

A proposta da modelagem *fuzzy* como ferramenta de auxílio nas avaliações de alguns parâmetros climáticos e fisiológicos objetivou transformar essas observações em modelos matemáticos. Dessa forma a lógica *fuzzy* oferece a vantagem de estreitar a relação entre a descrição linguística e o resultado matemático, o que pode ser usado para observar a validade das observações realizadas. As classificações foram formuladas com base nos dados registrados, podendo ser alteradas de acordo com o conhecimento de casos específicos localizados, visando à garantia da manutenção do controlador.

Pode-se encontrar na literatura diversos trabalhos nacionais que utilizaram a lógica *fuzzy* como ferramenta de suporte à decisão na agropecuária. Os índices de desempenho, a qualidade do produto final, do ambiente de criação e, mais atualmente,

o bem-estar animal, são parâmetros avaliados qualitativamente e classificados por variáveis linguísticas. Dessa forma, a aplicação da teoria *fuzzy* vem sendo utilizada nas áreas de ambiência e produção animal (GATES et al., 1999; NAKAMURA et al, 2002; AMENDOLA et al., 2005a; OLIVEIRA et al., 2005) comprovando a eficácia do uso desta ferramenta nestes estudos.

Segundo Pandorfi (2005) as técnicas de controle *fuzzy*, ao contrário dos controladores convencionais, em que o algoritmo de controle é descrito analiticamente por equações algébricas ou diferenciais, através de um modelo matemático, utilizam regras lógicas no algoritmo de controle, com a intenção de descrever numa rotina a experiência humana, intuição e heurística para controlar um processo, auxiliando no suporte a tomada de decisão no controle dos atuadores, garantindo, assim, uma melhor eficiência dos sistemas de climatização e sucesso na produção.

As análises avaliadas do presente trabalho poderiam ser realizadas por outros meios que não a lógica *fuzzy*. Porém, a aplicação desta ferramenta fornece um modelo de fácil interpretação. Além disso, os sistemas especialistas *fuzzy* aqui aplicados permitiram a integração do conhecimento científico de várias pesquisas e pode ser utilizado para auxiliar o entendimento do conforto térmico dos bovinos leiteiros. Segundo Alves (2006) outra vantagem a se observar, é a possibilidade de simples adaptação por meio de mudanças de regras e funções de pertinência. Assim, vale destacar que novas regras podem ser facilmente integradas ao sistema, quando disponibilizadas por um especialista da área de estudo.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que o uso da Mineração de dados e da teoria dos conjuntos *fuzzy* permitiu desenvolver um sistema inteligente aplicado ao acionamento de sistemas de climatização para vacas leiteiras da raça Holandesa confinadas.

A aplicação da Mineração de Dados e da lógica *fuzzy* na obtenção de parâmetros indicativos das condições de bem-estar dos bovinos leiteiros confinados forneceu modelos de fácil interpretação, tornando-se uma ferramenta importante na interpretação das condições de bem-estar dos bovinos confinados e em lactação, ao associar temperatura retal e frequência respiratória ao atendimento das necessidades de manutenção de conforto.

O programa computacional WEKA[®] e o *software* MATLAB[®] expressam com bastante exatidão situações reais quando utilizados na construção de modelos matemáticos envolvendo as variáveis fisiológicas e climáticas avaliadas.

A utilização destas ferramentas permitiu estabelecer alguns parâmetros ideais de conforto aos bovinos leiteiros da raça Holandesa em lactação manejados em condição de confinamento total. De acordo com os dados fisiológicos e climáticos, para os animais e condições de estudo pode-se concluir que:

1. A diferença entre os limites climáticos de conforto e estresse verificados em clima subtropical e em clima mediterrâneo é muito pequena para o período de coleta de dados avaliado.
2. A diferença entre os limites de conforto e estresse do ITU encontrados para a base de dados para vacas em diferentes níveis de produção de leite é muito pequena entre si e em comparação com a base de dados do rebanho total.
3. O limite superior da zona de termoneutralidade (ZTN) se situa próximo dos 26°C de temperatura de bulbo seco.
4. Abaixo de 22°C de temperatura a sensação de conforto térmico é muito boa, independentemente dos valores de umidade relativa do ar.
5. Acima de 26°C de temperatura ambiente no interior das instalações faz-se necessária a utilização de sistemas naturais e/ou artificiais para o controle

eficiente do ambiente, visando minimizar o efeito do estresse térmico e potencializar a dissipação de calor.

6. Ambientes com temperatura acima de 34°C já podem ser considerados altamente estressantes e, independentemente da umidade relativa do ar, a sensação de conforto térmico dos animais pode ser considerada como ruim.
7. Abaixo de valores do ITU em torno de 72 a condição de conforto térmico pode ser considerada muito boa.
8. Até valores do ITU por volta de 77 observa-se uma condição normal de conforto para os animais confinados.
9. Quando o ITU atinge valores acima de 80 a situação é de estresse térmico alto, indicando a necessidade da tomada de providências para evitar perdas na produção ou até mesmo para evitar mortes dos animais.

Sendo assim, os resultados mostram que é possível o desenvolvimento de um *software* que determine, com elevado grau de certeza, a ocorrência do estresse térmico, e qual o melhor momento para se acionar os sistemas de climatização, de acordo com as condições climáticas de exposição, o quê refletirá diretamente nas formas de manejo e custos de produção.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, R.; GEHRKE, J.; GUNOPULOS, D. Automatic Subspace Clustering of High Dimensional Data for Data Mining Applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF DATA, ACM Press, 1998, Seattle. **Proceedings...** Seattle: ACM SIGMOD, 1998. p. 94-105.

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

ALMEIDA, P.E.M. de; EVSUKOFF, A.G. Sistemas fuzzy. In: REZENDE, S.O. (org.). **Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações.** São Paulo: Manole, 2003. p. 169-202.

ALVES, S.P. **Uso da zootecnia de precisão na avaliação do bem-estar bioclimático de aves poedeiras em diferentes sistemas de criação.** 2006. 128 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ALVIM, R.S. **Cenário atual e perspectivas para a produção de leite no Brasil.** Castro: Comissão Nacional de Pecuária de Leite –CNA, 2005. 46 dispositivos: color.

AMENDOLA, M.; MOLLO NETO, M.; CRUZ, V.F. Using Fuzzy Sets Theory to Analyse environmental conditions in order to improve animal productivity. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTATION IN AGRICULTURE, 4., 2005a, Vila Real. **Proceedings...** Vila Real: 2005a. v. 1. p. 1-8.

AMENDOLA, M.; SOUZA, A.L.; BARROS, L.C. **Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5.** Campinas: UNICAMP, FEAGRI & IMECC, 2005b. 46P. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/~laeciocb/manual_fuzzy_matlab.pdf>. Acesso em: 4 mai. 2007.

AMENDOLA, M.; CASTANHO, M.J.; NÄÄS, I.A.; SOUZA, A.L. Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos *Fuzzy*. **Biomatemática Brasil**, Campinas, v.14, n.1, p.87-92, 2004.

AMENDOLA, M.; PERISSINOTTO, M.; WATANABE, B.M.T.; CRUZ, V.F. Using fuzzy sets theory to analyze environmental conditions in order to improve the milk production. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL - CNMAC, 2006, Campinas. **CNMAC-2006**. São Carlos-SP : SBMAC, 2006. v. 1. p. 1-1.

ANUALPEC 2002. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: FNP, Consultoria e Agroinformativo, 2002. p. 203 - 246.

ANUALPEC 2003. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: FNP, Consultoria e Agroinformativo, 2003. p. 213 - 256.

APPLEY, S.J., WEARY, A.D. Pre-farrowing behavior distinguishes piglet-savaging gilts from non-piglet-savaging gilts. In: INTERNATIONAL CONGRESS FOR APPLIED ETHOLOGY, 2000, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: ISAE, 2000. p.17-20.

ASHRAE. **Environment**. Handbook of fundamentals. New York: American Society of Heating and Refrigeration and Air Conditioned Engineers, 1983. p.139-198.

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** - Brazilian Journal of Animal Science. Viçosa, v.34, n.6, p.2000-2008, 2005.

BACCARI JUNIOR, F. Adaptação de sistemas de manejo na produção de leite em clima quente. In: SILVA, I.J.O. (org). **Ambiência na produção de leite**. Piracicaba: FEALQ, 1998, p. 24-67.

BACCARI JUNIOR, F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2001. 142 p.

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. 5-8.

BACCARI JUNIOR, F.; AGUIAR, I.S.; TEODORO, S.M. Hipertemia, taquipnéia e taquicardia em vacas Holandesas malhadas de vermelho sob estresse térmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 3., 1995, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1995. p. 15-16.

BACCARI, P.; BRASIL, L.H.A.; TEODORO, S.M. Thermoregulatory responses of alpine goats during thermal stress. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 5., 1997, Minneapolis. **Anais...** Minneapolis: 1997. p. 29-31.

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 246 p.

BALDWIN, B.A. Operant studies on the behaviour of pigs and sheep in relation to the physical environment. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.49, n. 4, p.1125-1127, 1979.

BARNETT, J.L.; HEMSWORTH, P.H. The validity of physiological and behavioural measures of animal welfare. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v.1, p.177-187, 1990.

BATISTA; G.E.A.P.A. **Pré-processamento de dados em aprendizado de máquina supervisionado**. 2003. 232 p. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

BENJAMIN, M.M. **Fluid and eletroctrolytes**. Outline of veterinary clinical pathology. Ames: Iowa State University Press, 1981. 12 p.

BERMAN, A.; FOLMAN, Y.M.; KAIM, M.; et al. Upper critical temperature and forced ventilation effects of high yielding dairy cows in a tropical climate. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.68, n.6, p.1489-2432, 1985.

BERRY, M.J.A.; LINOFF, G. **Data mining techniques**. New York: John Wiley, 1997. 444 p.

BIANCA, W. Heat tolerance in cattle its concepts: measurement and dependence on modify factors. **International Journal of Biometeorology**, Heidelberg, v. 5, p. 5-30, 1961.

BOURAOUI, R.; LAHMAR, M.; MAJDOUB, A.; DJEMALI, M.; BELYEA, R. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. **Animal Research**, Les Ulis, v.51, p.479-491, 2002.

BROOM, D. M. Animal welfare: concepts and measurement. **Journal Animal Science**, Cambridge, v. 69, n. 10, p. 4167-4175, Oct. 1991.

BRUHA, I.; FAMILI, F. Postprocessing in machine learning and data mining. **ACM SIGKDD Explorations Newsletter**, Boston, v. 2, n. 2, 110-114. Dec. 2000.

BRUNASSI, L. A.; MOURA, D. J.; NÄÄS, I. A. Teste de um sistema fuzzy de identificação de estro em uma fazenda comercial de vacas leiteiras. In: SIMPÓSIO DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIENTES PROTEGIDOS, 2006, Campinas. **SIMCRA 2006: trabalhos...** Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2006. 1 CD-ROM.

BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H. Black globe-humidity comfort index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.4, p.711-714, 1981.

CADENAS, J.M.; PELTA, D.A.; PELTA, H.R.; VERDEGAY, J.L. **Application of fuzzy optimization to diet problems in Argentinean farms**. 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: 2 ago. 2006.

CAMPOS, R.P.; AMENDOLA, M. Aplicação da teoria dos conjuntos fuzzy na determinação da situação de estresse em instalações de vacas leiteiras. In: BRAZILIAN CONFERENCE ON DYNAMICS, CONTROL AND THEIR APPLICATIONS - DINCON/2006, 5., 2006, Guaratinguetá. **Anais...** Guaratinguetá: DINCON, 2006. v. 1, p.1-4.

CARVALHO, M.P. **O grande desafio da rentabilidade no setor leiteiro**. 2004. Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/>>. Acesso em: 19 nov. 2006.

CARVALHO, M.P. de; RODRIGUES, J. **Top 100 Milkpoint 2006**. Disponível em: <http://www.milkpoint.com.br>. Acesso em: 23 ago. 2007.

CENTEIO, S.J.D.M. **Mineração de dados usando WEKA**. 2002. NÚMERO DE PÁGINAS. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.

CHAPMAN, P.; CLINTON, J.; KERBER, R.; KHABAZA, T.; REINARTZ, T.; SHEARER, C.; WIRTH, R. **CRISP-DM 1.0**. Step-by-step data mining guide. 78 p. 2000. Disponível em: <<http://www.crisp-dm.org/CRISPWP-0800.pdf>>. Acesso em: 10 Apr. 2007.

CHEVILLON, P. **O bem estar dos suínos**. 2000. Disponível em: <<http://www.embrapa.gov.br>>. Acesso em: 10 maio 2006.

CHIARINI, A.M.; TOLON, Y.B.; NÄÄS, I.A.; MOURA, D.J.; CAMPOS, L.S.L.; SANTOS, R.C. Uso da lógica fuzzy para o desenvolvimento de um modelo padrão de avaliação do ambiente de maternidade de suínos. In: SIMPÓSIO DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIENTES PROTEGIDOS, 2006, Campinas. **SIMCRA 2006: trabalhos...** Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2006. 1 CD-ROM.

CHQUILOFF, M.A.G. Estudo comparativo da tolerância ao calor das raças Gir, Schwyz, Jersey, Guernsey e Holandesa P.B. às condições climáticas de Pedro Leopoldo, Minas Gerais. **Arquivo da Escola Veterinária**. Pedro Leopoldo, v. 16, p. 19 - 95, 1964.

CLARK, J. A. **Environmental aspects of housing for animal production**. London: Butterworths, 1981. 511p.

COPPOCK, C.E; WEST, J.W. Nutritional adjustments to reduce heat stress in lactating dairy cows. In: GEORGIA NUTRITION CONFERENCE FOR THE FEED INDUSTRY, 1986, Atlanta. **Proceedings....** Atlanta: GA, 1986. p. 19-26.

COX, S.W.R. **Farm Electronics**. BSP Professional Books, Oxford: Farm Electronics, 1988. 310 p.

CUNNINGHAM, J.G. **Tratado de fisiologia veterinária**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999. 528 p.

CVETICANIN, D. New approach to the dynamic weighing of livestock. **Biosystems Engineering**, United Kingdom, v. 86, n. 3, p. 247-250, 2003.

DAVIS, M. S. Effects of water application to feedlot mound during the summer. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMET SYMPOSIUM, 6., 2001, Louisville. **Proceedings**. Louisville: ASAE, 2001. 1 CD-ROM.

DIAS, M. M. Parâmetros na escolha de técnicas e ferramentas de mineração de dados. **Acta Scientiarum Maringá**, Maringá, v. 24, n. 6, p. 1715-1725, 2002.

DU PREEZ, J.H.; GIESECKE, W.H.; HATTINGH, P.J.; EISENBERG, B.E. Heat stress in dairy cattle under Southern African Conditions. II. Identification of areas of potential heat stress during summer by means of observe true and predicted temperature-humidity index values. **Onderstepoort Journal Veterinary Research**, Pretória, v. 57, p. 183-187, 1990.

EBECKEN, N.F.F. Fog Formation Prediction In Coastal Regions Using Data Mining Techniques. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ENVIRONMENTAL COASTAL REGIONS, 2, 1998, Cancun. **Proceedings...** Cancun: Environmental Coastal Regions, 1998. v. 1. p. 165-174.

ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. WestPort CT: ABI, 1982. 325 p.

FAYYAD, U.; PIATETSKI-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. The KDD process for extracting useful knowledge from volumes of data. **Communications of the ACM**, New York, v.39, n. 11, p. 27-34, Nov.1996.

FIRK, R.; STAMER, E.; JUNCE, W.; KRIETER, J. Improving oestrus detection by combination of activities measurements with information about previous oestrus cases. **Livestock Production Sciences**, Clare, v. 82, n. 1, p. 97-103, 2003.

FRASER, D., RITCHIE, J.S.D. E FRASER, A.F. The term “stress” in a veterinary context. **British Veterinary Journal**, Newmarket Suffolk, v. 13, n. 1, p. 653-662, 1975.

FRASER, D. Animal eITUcs and animal welfare science: bridging the two cultures. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 65, n. 3, p. 171-189, Dec. 1999.

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

GATES, R.S.; CHAO, K.; SIGRIMIS, N. **Fuzzy control simulation of plant and animal environments**. 1999. 24p. In: ASAE Annual International Meeting. Toronto, Canada. Disponível em: <<http://www.bae.uky.edu/gates/freebies/ASAE99/993136.pdf>>. Acesso em: 10 Nov. 2006.

GIMENES, E; SEIXAS, J.A. **Data mining – data warehouse**: a importância da mineração de dados em tomadas de decisões. 2000. Disponível em <<http://br.geocities.com/dugimenes>>. Acesso em: 2 Aug. 2006.

GOEBEL, M.; GRUENWALD, L. A survey of data mining and knowledge discovery software tools. **ACM SIGKDD**, San Diego, v. 1, n. 1, p. 20-33, 1999.

GOMES, S.T. Ajustamento na produção de leite. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 17 fev. 1998. Agrofolha, p.4.

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. Management and housing of farm animals in hot environment. In: YOUSEF, M.K. (Ed.). **Stress physiology in livestock**, Boca Raton: CRC Press, 1985. v. 2, p. 151-174.

HAHN, G. L. **Bioclimatologia e instalações zootécnicas**: aspectos teóricos e aplicados. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 28p.

HAHN, G. L.; MADER, T. L. Heat waves in relation o thermoregulation, feeding behavior, and mortality of feedlot cattle. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 5., 1997, Minnesota. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, 1997. p. 563-571.

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**, St. Joseph, v.40, p.97-121, 1997.

HEAD, H.H. The strategic use of the physiologic potencial of the dairy cows. In: SIMPÓSIO DE LEITE NOS TRÓPICOS: NOVAS ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO, 1989, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FMVZ-UNESP, 1989. p. 38-89.

HEAD, H.H. Management of dairy cattle in tropical and subtropical environments. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 2., 1995, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: SBBiomet, 1995. p. 26-68.

HILDERMAN, R.J.; HAMILTON, H.J. Evaluation of interestingness measures for ranking discovered knowledge. In: PACIFIC-ASIA CONFERENCE ON KNOWLEDGE DISCOVERY AND DATA MINING, 5., 2001, London. **Proceedings...** London: Springer-Verlag, 2001, p. 247-259.

HILLMAN, P.E.; GEBREMEDHIN, K.G.; PARKHRST, A. Evaporative and convective cooling of cows in a hot and humid environment. (Compact disc). In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMET SYMPOSIUM, 6., 2001, Louisville. **Proceedings...** Louisville: ASAE, 2001. p. 343-350.

HUBER, J.T. Alimentação de vacas de alta produção sob condições de estresse térmico. In: SIMPÓSIO SOBRE BOVINOCULTURA LEITEIRA, 1990, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1990. p. 33-48.

HURNIK, J.F. Behavior. In: PHILLIPS, C.; PIGGINS, D. (Ed.). **Farm animals and the environment**. Wallingford: CAB International, 1992. chap. 13, p. 235-244.

IGONO, M.O., STEEVENS, B.J.; SHANKLIN, M.D. Spray cooling effects on milk production, milk and rectal temperature of cows during a moderate temperature summer season. **Journal of Dairy Science**, Champaingn, v. 68, p. 979-85, 1985.

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

IGONO, M.O.; BJTVEDT, G.; SANFORD-CRANE, H.T. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holsteins cows in desert climate. **International Journal Biometeorology**, Lisse, v. 36, p. 77-78, 1992.

JOHNSON, H. D. Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic change. **International Journal Biometeorology**, Lisse, v.24, p.65-78, 1980.

JOHNSON, H.D. **Bioclimatology and adaptation of livestock**. Amsterdam: Elsevier, 1987. 279 p.

JOHNSON, H. D.; RAGSDALE, A. C; BERRY, I. L.; SHANKLIN, M. D. et al. **Effects of various temperature-humidity combinations on milk production of Holstein cattle**. Missouri: Missouri Agricultural Experimental Station, 1962. (Research Bulletin). p.791.

KASAHARA, C.N.; FERREIRA, F.J.B.; XIMENES, R.L. **Mineração de dados aplicada à classificação de espécies em biologia**. 2005. 74 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Ciência da Computação) - Universidade da Amazônia – UNAMA, Belém, 2005.

KIRCHNER, K.; TÖLLE, K-H; KRIETER, J. Decision tree technique to pig farming datasets. **Livestock Production Science**, Amsterdam, n.90, p.191-200, 2004.

KOLB, E. **Fisiologia Veterinária**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1987. 612p.

KUFRIN, R. Decision trees on parallel processors. In: GELLER, J.; KITANO, H.; SUTTNER, C.B. (Ed.). **Parallel Processing for Artificial Intelligence**, 3, Amsterdam: Elsevier Science, 1997, p. 279-306.

LEITE BRASIL. 2004. Disponível em: <<http://www.leitebrasil.org.br/>> Acesso em: 21 jun. 2006.

LIMA, T.S. **Estudo comparativo dos algoritmos de classificação da ferramenta weka**. 2005. 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Estágio Supervisionado em Sistemas de Informação) - Centro Universitário Luterano de Palmas – ULBRA, Palmas, 2005.

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**, St. Joseph, v.14, n.2, p.177-182, 1998.

MACHADO FILHO, P. 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.

MALTZ, E.; EDAN, Y.; HALACHMI, I.; MORAG, I. **Decision Support Systems for the Dairy Farm**. 2006. Disponível em: < <http://www.agri.gov.il/AGEN/Reports/DSS-Dairy.html>> Acesso em: 21 jun. 2006.

MANDANI, E.H. Advances in the linguistic syntesis of fuzzy controllers. **International Journal of Man-Machine Studies**, London, v. 8, p. 669-678, 1976.

MARTELLO, L.S. **Diferentes recursos de climatização e sua influência na produção de leite, na termorregulação dos animais e no investimento das instalações**. 2002. 111 p. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2002.

MARTELLO, L.S. **Interação animal-ambiente:** efeito do ambiente climático sobre as respostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas em free-stall. 2006. 113 p. Tese (Doutorado em Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006.

MATARAZZO, S.V. **Eficiência do sistema de resfriamento adiabático evaporativo em confinamento tipo freestall para vacas em lactação.** 2004. 155 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

McDOWELL, R.E.; LEE, D.H.K.; FOHRMAN, M.H. The measurement of water e. vaporation from limited areas of a normal body surface. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 13, p. 405-416, 1954.

MEIRELES, A. J. **Setor Lácteo** - História Recente e Construção de um Novo Tempo. 2002. Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/>>. Acesso em: 19 nov. 2006.

MELO, A.C.G.; OLIVEIRA, F.L.; PADILHA, T.P.P.; PREVIERO, C.A. Utilização de Algoritmos Simbólicos para a Identificação do Número de Caroços do Fruto Pequii. In: ENCONTRO DE ESTUDANTES DE INFORMÁTICA DO ESTADO DO TOCANTINS, 5, 2002, Palmas. **Anais...** Palmas: Encoinfo, 2002. p. 34-43.

METHA, M.; AGRAWAL, R.; RISSANEN, J. SLIQ: A Fast Scalable Classifier for Data Mining. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXTENDING DATABASE TECHNOLOGY, EDBT, 5, 1996, Avignon. **Proceedings...** Avignon: EDBT, 1996. p. 18-32.

MITCHELL, T.M. **Machine learning.** New York: McGraw-Hill, 1997. 414 p.

MOBERG, G.P. A model for assessing the impact of behavioral stress of domestic animals. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 65, p. 1228-1265, 1987.

MOTA, L.S. **Adaptação e interação genótipo-ambiente em vacas leiteiras.** 1997. 69p. Tese (Doutorado em Biologia Comparada) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 1997.

MOURA, D.J.; NÄÄS, I.A. Estudo comparativo de índices de conforto térmico na produção de animais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA – CEPLAC, 1993, v. 1, p. 42-46.

NÄÄS, I. A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, 1989, 183p.

NÄÄS, I.A. Tipologia de instalações em clima quente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p.146 - 155.

NÄÄS, I.A.; SILVA, I.J.O. Técnicas modernas para melhorar a produtividade dos suínos através do controle ambiental. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE INGENIERÍA RURAL, 1., 1998, Balbuena. **Proceedings...** Balbuena: CLIR, 1998, p. 464-472.

NÄÄS, I.A.; ARCARO JÚNIOR, I. Influencia de ventilação e aspersão em sistemas de sombreamento artificial para vacas em lactação em condições de calor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 139-142, 2001.

NÄÄS, I.A.; SOUZA, S.R.L.; SALGADO, D.D.; MARCHETO, F.G. Evaluating the Effect of Environment in Holstein Cows Under Tropical Conditions. In: INTERNATIONAL DAIRY HOUSING, 15., 2003, Texas. **Proceedings...** Texas: ASAE, 2003. v. 5. p. 277-281.

NAKAMURA, A.; TOGASHI, K.; YAMAMOTO, N.; NISHIURA, A. Effect of mate selection on fuzzy selective mating criteria in closed dairy multiple ovulation and embryo transfer nucleus programs. **Animal Science Journal**, Tokyo, v.73, p. 175-178, 2002.

NEVES, C.F. **Descobertas de padrões usando técnicas de extração de conhecimento**. Palmas: Centro Universitário Luterano de Palmas, curso de Sistemas de informação. 2004, 36p.

NIENABER, J.A.; HAHN, G.L. Engineering and Management Practices to Ameliorate Livestock Heat Stress. In: CIGR NEW TRENDS IN FARM BUILDINGS, 6., 2004, Évora. **Proceedings...** Évora: CIGR, 2004. p.1-18. CD-ROM.

NOBRE, F.S.M. Fuzzy logic: aplicações. **Revista Integração**, São Paulo, v.6, n.23, p.264-267, nov. 2000.

OLIVEIRA, H.L.; AMENDOLA, M.; NÄÄS, I.A. Estimated thermal comfort condition for layers according to Fuzzy theory. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p. 300-307, 2005.

ORTEGA, N.R.S. **Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a problemas da Biomedicina**. 2001. 342 p. Tese (Doutorado em Física) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

OWADA, A.N.; NÄÄS, I.A. Utilização da lógica fuzzy para avaliação do bem-estar de frangos de corte. In: SIMPÓSIO DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIENTES PROTEGIDOS, 2006, Campinas. **SIMCRA 2006**: trabalhos... Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2006. 1 CD-ROM.

PANDORFI, H. **Comportamento bioclimático de matrizes suínas em gestação e o uso de sistemas inteligentes na caracterização do ambiente produtivo**: suinocultura de precisão. 2005. 119 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PANDORFI, H.; SILVA I.J.O.; PIEDADE S.M.S. Uso da tecnologia da informação para análise de sinais e padrões com ênfase no conforto e bem-estar de matrizes suínas gestantes. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **SBZ 2006**: trabalhos...João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.

PENNINGTON, J.A.; VANDEVENDER, K. **Heat Stress in Dairy Cattle**. Agriculture and Natural Resources. 2005. Disponível em: <<http://www.uaex.edu>>. Acesso em: 18 Nov. 2005.

PERISSINOTTO, M. **Avaliação da eficiência produtiva e energética de sistemas de climatização em galpões tipo *freestall* para confinamento de gado leiteiro**. 2003. 140 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PERISSINOTTO, M.; MATARAZZO, S.V.; SILVA, I.J.O.; MOURA, D.J. Variação da intermitência de acionamento do sistema de resfriamento adiabático evaporativo em *freestall* e seus reflexos nas trocas de calor sensíveis e latente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: CONBEA, 2003. p. 52.

PIETERSMA, D.; LACROIX, R.; LEFRBVRE, D.; WADE, K.M. Induction and Evaluation decision trees for lactation curve analysis. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Las Vegas, v.38, n.1, p.19-32, 2003.

REZENDE, S.O.; PUGLIESI, J.B.; MELANDA, E.A.; PAULA, M.F. Mineração de dados. In: REZENDE, S.O. (Ed.). **Sistemas inteligentes: Fundamentos e Aplicações**, Barueri: Ed. Manole, 2003. cap. 12, p. 307-335.

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

ROMÃO, W. **Descoberta de conhecimento relevante em banco de dados sobre ciência e tecnologia**. 2002. 253 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERNA, S.B. Human and animal biometeorology. In: _____ - **Microclimate-the biological environment**, 2nd ed., New York: Wiley-Interscience, 1983, p. 425-467.

ROSSING, W. Animal identification: introduction and history. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 24, n. 1, p. 1-4, 1999.

SANTOS, R.C.; NÄÄS, I.A. Utilização da lógica fuzzy para a simulação do estro de bovino leiteiro exposto a diferentes valores de temperatura e UR. In: SIMPÓSIO DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIENTES PROTEGIDOS, 2006, Campinas. **SIMCRA 2006: trabalhos...** Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2006. 1 CD-ROM.

SANTOS, M.V.; LIMA, Y.V.R.; SANVIDO, G.B. **Benefícios do consumo de produtos lácteos para a saúde humana**. <Disponível em: <http://www.milkpoint.com.br/>>. Acesso em: 19 nov. 2006.

SHEARER, J.K.; BEEDE, D.K. Thermoregulation and physiological responses of dairy cattle in hot weather. **Agri-Pratice**, Mission Viejo, v. 11, n. 4, p. 8-17, 1990.

SILVA, I.J.O. Climatização das instalações para bovino leiteiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, NÚMERO DO EVENTO, 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: 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, mar. 1999.

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

SOTA, R.L. Fisiologia ambiental: mecanismos de resposta del animal al estress calórico. In: JORNADA DE MANEJO DEL ESTRESSE CALÓRICO, 1, 1996, La Plata. **Anais...** La Prata: EDULP, 1996, p. 1-43.

SOUSA, M. S. R. **Mineração de dados**: Uma implementação fortemente acoplada a um sistema gerenciador de banco de dados paralelo. 1998. 67 p. Dissertação (Mestre em Ciências em Engenharia de Sistemas de Computação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, Rio de Janeiro, 1998.

SOUZA, M. 2003. **Data mining**. Disponível em:
<<http://www.imasters.com.br/artigo/1482>>. Acesso em: 2 ago. 2006.

STOBER, M. Identificação, anamnese, regras básicas da técnica do exame clínico geral. In: ROSEMBERG (Ed). **Exame clínico dos bovinos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993. 419p.

STOWELL, R. R. Heat stress relief and supplemental cooling. In: DAIRY HOUSING AND EQUIPMENT SYSTEMS CONFERENCE, 2000, Ithaca. **Proceedings...** New York: NRAES, 2000. p 175-185.

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

TURNER, L.W. Global position systems (GPS) and grazing behavior in cattle. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 6, 2001, Louisville. **Proceedings...** Louisville: ASAE, 2001. p. 640-650.

VALE, M.M.; MOURA, D.J.; NÄÄS, I.A. Modelagem da mortalidade de frangos de corte decorrente de extremos climáticos por intermédio de mineração de dados. In: SIMPÓSIO DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIENTES PROTEGIDOS, 2006, Campinas. **SIMCRA 2006: trabalhos...** Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2006. 1 CD-ROM.

VAN BORELL, E. Neuroendocrine integration of stress and significance of stress for the performance of farm animals. **Applied Animal Behaviour Science**. Saskatoon, v. 44, p.219-227, 1995.

WARRISS, P. D. Meat science: an introductory text. Wallingford: **CABI Publishing**, 2000, chap.1-10. 310p.

WATANABE, B.M.; AMENDOLA, M.; NAAS, I.A . Análise das condições de conforto de frangos de corte utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy*. In: CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12, 2005, Campinas. **Resumos...** Campinas: FEAGRI, 2005. v.1, p.1-1.

WEISS, S.M.; INDURKHYA, N. **Predictive data mining**: A practical guide. New York: Morgan Kaufmann Publishers. 1998. p. 228

WEKA. **Waikato environment for knowledge analysis**. 2007. Disponível em: <<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>>. Acesso em jun. 2007.

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

WOUTERS, P.; GEERS, R.; PARDUYNS, G.; GOOSSENS, K.; TRUYEN, B.; GOEDSEELS, V.; VAN DEER STUYFT, E. Image analysis parameters as inputs for automatic environmental temperature control in the piglets houses. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 5, n. 2, p. 233-246, 1990.

YANG, C.; PRASHER, S.O.; WHALEN, J.; GOEL, P.K. Use of hyperspectral imagery for identification of different fertilisation methods with decision-tree technology. **Biosystems Engineering**, Iowa, v.83, n.3, 2002, p. 291-298.

YOUSEF, M. K.; JOHNSON, H. D. Endocrine system and thermal environment. In:YOUSEF, M. K. **Stress physiology in livestock**. Boca Raton:CRC Press, 1985. v.1, p.133-142.

ZADEH, L. Fuzzy sets. **Information and Control**, New York, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZANON, P.C.F.; FELIPETTO, R.; MAIA, R.M. **Lógica Fuzzy**. 2005. Disponível em: <<http://www.geocities.com/logicfuzby/fuzzy.htm>>. Acesso em: 15 fev. 2005.

ZHANG, B.; VALENTINE, I.; KEMP, P. Modelling the productivity of naturalized pasture in the north island, New Zeland: a decision tree approach. **Ecological Modelling**, Copenhagen, Denmark, v. 186, p. 299-311, 2005.

ZOCCAL, R. **Estatísticas**. 2006.Disponível em: <http://www.cnpq.embrapa.br/estatisticos.php>. Acesso em: 20 maio 2007.

ANEXOS

ANEXO 1 - Saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ambiente 1, no nível de produção menor que 20 litros.animal⁻¹.dia⁻¹

==== Run information ====

Scheme: weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2

Relation: Sep produção Br - menor que 20- Dados Tbs+HR+conforto-weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R3-5-weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0

Instances: 183 Attributes: 3 Tbs int HR int Conforto

Test mode: 10-fold cross-validation

==== Classifier model (full training set) ==== J48 pruned tree

Tbs int <= 34.4

| Tbs int <= 30.4

| | HR int <= 49.9

| | | Tbs int <= 29.4

| | | | **Tbs int <= 28.5: muito_bom (14.0)**

| | | | Tbs int > 28.5: regular (3.0)

| | | **Tbs int > 29.4: bom (21.0)**

| | | HR int > 49.9

| | | Tbs int <= 28.8

| | | | Tbs int <= 24.8

| | | | | HR int <= 71.3: regular (7.0)

| | | | | HR int > 71.3

| | | | | Tbs int <= 21.2: bom (3.0)

| | | | | Tbs int > 21.2

| | | | | Tbs int <= 21.5: regular (3.0)

| | | | | Tbs int > 21.5: bom (3.0)

| | | | **Tbs int > 24.8: bom (36.0/7.0)**

| | | **Tbs int > 28.8: regular (26.0)**

| Tbs int > 30.4

| | HR int <= 35.7

| | | Tbs int > 31.2: regular (8.0/1.0)

| | **HR int > 35.7: regular (38.0/2.0)**

| **Tbs int > 34.4: ruim (21.0)**

==== Stratified cross-validation ===== Summary ====

Correctly Classified Instances 167 91.2568 %

Incorrectly Classified Instances 16 8.7432 %

Kappa statistic 0.8672

Mean absolute error 0.0615

Root mean squared error 0.1957

Relative absolute error 18.668 %

Root relative squared error 48.2997 %

Total Number of Instances 183

==== Detailed Accuracy By Class ====

TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	Class
0.818	0.012	0.9	0.818	0.857	muito_bom
1	0.069	0.852	1	0.92	bom
0.888	0.053	0.94	0.888	0.913	regular
0.9	0	1	0.9	0.947	ruim

==== Confusion Matrix ====

a b c d <-- classified as

18 1 3 0 | a = muito_bom

0 52 0 0 | b = bom

2 8 79 0 | c = regular

0 0 2 18 | d = ruim

ANEXO 2 - Saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ambiente 1, no nível de produção entre 20 e 25 litros.animal⁻¹.dia⁻¹

==== Run information ====

Scheme: weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2

Relation: Sep produção Br - entre 20 e 25- Dados Tbs+HR+conforto-
weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R3-5-weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0-
weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0

Instances: 209 Attributes: 3 Tbs int HR int Conforto

Test mode: 10-fold cross-validation

==== Classifier model (full training set) ==== J48 pruned tree

Tbs int <= 31.9

| Tbs int <= 28.7

| | **Tbs int <= 24.3: muito_bom (32.0)**

| | Tbs int > 24.3

| | | **Tbs int <= 26: bom (17.0/4.0)**

| Tbs int > 28.7

| | HR int <= 41.9

| | | Tbs int <= 30.7

| | | | Tbs int <= 30.2

| | | | **Tbs int <= 29.6: bom (24.0)**

| | HR int > 41.9

| | | Tbs int <= 31.2

| | | | Tbs int <= 29.6

| | | | **Tbs int <= 29.2: regular (30.0/8.0)**

| | | | **Tbs int > 29.6: regular (34.0)**

| | | **Tbs int > 31.2: ruim (22.0/1.0)**

Tbs int > 31.9

| Tbs int <= 37.2

| | Tbs int <= 33.1: regular (5.0)

| | Tbs int > 33.1

| | | Tbs int <= 34.9

| | | | Tbs int <= 34.4

| | | | HR int <= 21.2: regular (2.0)

| | | | HR int > 21.2

| | | | **HR int <= 39.9: ruim (18.0/1.0)**

| | | | HR int > 39.9: regular (2.0)

| | | Tbs int > 34.4: regular (2.0)

| | | **Tbs int > 34.9: ruim (18.0)**

| Tbs int > 37.2: regular (3.0)

==== Stratified cross-validation ====

==== Summary ====

Correctly Classified Instances	162	77.512 %
--------------------------------	-----	----------

Incorrectly Classified Instances	47	22.488 %
----------------------------------	----	----------

Kappa statistic	0.6769
-----------------	--------

Mean absolute error	0.1311
---------------------	--------

Root mean squared error	0.296
-------------------------	-------

Relative absolute error	37.8321 %
-------------------------	-----------

Root relative squared error	71.1621 %
-----------------------------	-----------

Total Number of Instances	209
---------------------------	-----

==== Detailed Accuracy By Class ====

TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	Class
0.898	0.107	0.859	0.898	0.878	muito_bom
0.474	0.099	0.514	0.474	0.493	bom
0.71	0.054	0.846	0.71	0.772	regular

```

1      0.048  0.7    1      0.824  ruim
=== Confusion Matrix ===
 a b c d <-- classified as
79 9 0 0 | a = muito_bom
12 18 8 0 | b = bom
1 8 44 9 | c = regular
0 0 0 21 | d = ruim

```

ANEXO 3 - Saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ambiente 1, no nível de produção maior que 25 litros.animal⁻¹.dia⁻¹

```

=== Run information ===
Scheme:      weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2
Relation:      Sep produção Br - maior que 25- Dados Tbs+HR+conforto-
weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R3-5-weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0-
weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0-
Instances: 186      Attributes: 3      Tbs int      HR int      Conforto
Test mode: 10-fold cross-validation
=== Classifier model (full training set) ===      J48 pruned tree
Tbs int <= 31.7
| Tbs int <= 28.7
| | Tbs int <= 21.5: bom (9.0)
| | Tbs int > 21.5
| | | Tbs int <= 25.4: muito_bom (24.0/1.0)
| | | Tbs int > 25.4
| | | | HR int <= 35.7
| | | | Tbs int <= 27.8: muito_bom (9.0)
| | | | HR int > 35.7
| | | | | HR int <= 57.8
| | | | | Tbs int <= 27.6
| | | | | HR int <= 45.4: muito_bom (10.0)
| | | | | HR int > 45.4: bom (12.0)
| | | | | Tbs int > 27.6: bom (14.0/2.0)
| Tbs int > 28.7
| | HR int <= 30: muito_bom (6.0)
| | HR int > 30
| | | Tbs int <= 31.2
| | | Tbs int <= 29.1
| | | | HR int <= 54.8: muito_bom (6.0/2.0)
| | | | HR int > 54.8: bom (10.0/5.0)
| | | | Tbs int > 29.1: regular (30.0/1.0)
| | | Tbs int > 31.2: bom (8.0)
Tbs int > 31.7
| Tbs int <= 33.1: regular (8.0)
| Tbs int > 33.1
| | HR int <= 21.6: regular (9.0)
| | HR int > 21.6
| | | HR int <= 27: regular (21.0/6.0)
| | | HR int > 27: ruim (9.0)
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
Correctly Classified Instances      156      83.871 %

```

```

Incorrectly Classified Instances    30          16.129 %
Kappa statistic                    0.7581
Mean absolute error                 0.1037
Root mean squared error             0.2522
Relative absolute error             30.3934 %
Root relative squared error         61.1088 %
Total Number of Instances          186

```

```
=== Detailed Accuracy By Class ===
```

TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	Class
0.879	0.058	0.892	0.879	0.885	muito_bom
0.8	0.04	0.824	0.8	0.812	bom
0.89	0.15	0.793	0.89	0.839	regular
0.417	0	1	0.417	0.588	ruim

```
=== Confusion Matrix ===
```

```

a b c d <-- classified as
58 3 5 0 | a = muito_bom
2 28 5 0 | b = bom
5 3 65 0 | c = regular
0 0 7 5 | d = ruim

```

ANEXO 4 - Saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ambiente 2, no nível de produção menor que 20 litros.animal⁻¹.dia⁻¹

```
=== Run information ===
```

```
Scheme: weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2
```

```

Relation: Separados por produção PT - menor que 20 - Dados Tbs+HR+conforto-
weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R3-5-weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0-
weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0-

```

```
Instances: 240 Attributes: 3 Tbs int HR int Conforto
```

```
Test mode: 10-fold cross-validation
```

```
=== Classifier model (full training set) === J48 pruned tree
```

```
Tbs int <= 30.2
```

```
| Tbs int <= 26
```

```
| | Tbs int <= 24.5
```

```
| | | Tbs int <= 20.9: bom (9.0)
```

```
| | | Tbs int > 20.9
```

```
| | | Tbs int <= 22.7: muito_bom (25.0)
```

```
| | | Tbs int > 22.7: bom (10.0/2.0)
```

```
| | Tbs int > 24.5
```

```
| | HR int <= 40.8: muito_bom (25.0/1.0)
```

```
| | HR int > 40.8: bom (23.0)
```

```
| Tbs int > 26: bom (9.0/7.0)
```

```
Tbs int > 30.2
```

```
| Tbs int <= 31.9
```

```
| | HR int <= 34.5: bom (29.0/1.0)
```

```
| | HR int > 34.5: regular (29.0)
```

```
| Tbs int > 31.9
```

```
| | HR int <= 25.3: regular (38.0)
```

```
| | HR int > 25.3
```

```
| | Tbs int > 37.4: ruim (43.0/1.0)
```

```
=== Stratified cross-validation ===
```

```
=== Summary ===
```

```

Correctly Classified Instances    217      90.417 %
Incorrectly Classified Instances  23       9.583 %
Kappa statistic                  0.8553
Mean absolute error              0.0756
Root mean squared error         0.2074
Relative absolute error          22.4585 %
Root relative squared error      50.6312 %
Total Number of Instances       240

```

=== Detailed Accuracy By Class ===

TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	Class
0.586	0.006	0.944	0.586	0.718	muito_bom
0.911	0.022	0.947	0.911	0.93	regular
1	0.006	0.963	1	0.978	ruim
0.962	0.125	0.857	0.962	0.909	bom

=== Confusion Matrix ===

a	b	c	d	<-- classified as
17	1	0	11	a = muito_bom
0	72	1	6	b = regular
0	0	26	0	c = ruim
1	3	0	102	d = bom

ANEXO 5 - Saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ambiente 2, no nível de produção entre 20 e 25 litros.animal⁻¹.dia⁻¹

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2
 Relation: Separados por produção PT - entre 20 e 25 - Dados Tbs+HR+conforto-
 weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R3-5-weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0-
 weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0
 Instances: 105 Attributes: 3 Tbs int HR int Conforto

Test mode: 10-fold cross-validation

=== Classifier model (full training set) === J48 pruned tree

Tbs int <= 31.6

| Tbs int <= 27.8: muito_bom (7.0/1.0)

| Tbs int > 27.8

| | Tbs int <= 28.4: bom (5.0/1.0)

| | Tbs int > 28.4

| | | Tbs int <= 30.5: bom (7.0/1.0)

| | | Tbs int > 30.5

| | | | HR int <= 28: bom (18.0)

| | | | HR int > 28: regular (15.0)

Tbs int > 31.6

| HR int <= 26.1: regular (36.0)

| HR int > 26.1: ruim (17.0/1.0)

=== Stratified cross-validation ===

=== Summary ===

```

Correctly Classified Instances    88      83.809 %
Incorrectly Classified Instances  17      16.191 %
Kappa statistic                  0.7573
Mean absolute error              0.1078
Root mean squared error         0.2608
Relative absolute error          32.7038 %

```

```

Root relative squared error      64.4029 %
Total Number of Instances      105
=== Detailed Accuracy By Class ===
TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  Class
0.839    0.125    0.765     0.839   0.833     muito_bom
1        0.034     0.75      1       0.833     ruim
0.692    0.054    0.783     0.692   0.333     bom
0.889    0        1         0.889   0.963     regular
=== Confusion Matrix ===
 a  b  c  d  <-- classified as
26  0  5  0 | a = muito_bom
 0 12  0  0 | b = ruim
 6  2 18  0 | c = bom
 2  2  0 32 | d = regular
-----

```

ANEXO 6 - Saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ambiente 2, no nível de produção maior que 25 litros.animal⁻¹.dia⁻¹

```

=====
=== Run information ===
Scheme:      weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2
Relation:     Separados por produção PT - maior que 25 - Dados Tbs+HR+conforto-
weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R3-5-weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0-
weka.filters.unsupervised.instance.Resample-S1-Z100.0
Instances:    181      Attributes: 3      Tbs int      HR int      Conforto
Test mode:    10-fold cross-validation
=== Classifier model (full training set) ===      J48 pruned tree
Tbs int <= 31.9
| HR int <= 36.4
| | HR int <= 33.6: bom (40.0)
| | HR int > 33.6: regular (30.0)
| HR int > 36.4
| | HR int <= 64.2
| | | Tbs int <= 28.8: muito_bom (27.0/5.0)
| | | Tbs int > 28.8: bom (51.0/3.0)
| | HR int > 64.2: muito_bom (3.0/1.0)
Tbs int > 31.9
| Tbs int <= 34.9
| | HR int <= 21.6: regular (2.0)
| | HR int > 21.6: ruim (2.0)
| Tbs int > 34.9: ruim (26.0)
=====
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
Correctly Classified Instances      158      87.293 %
Incorrectly Classified Instances     23      12.707 %
Kappa statistic                     0.8112
Mean absolute error                  0.0702
Root mean squared error              0.2092
Relative absolute error              20.5743 %
Root relative squared error          50.6935 %
Total Number of Instances           181
=====
=== Detailed Accuracy By Class ===
TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  Class

```


0.608	0.049	0.636	0.608	0.629	muito_bom
0.898	0.01	0.978	0.898	0.932	regular
0.961	0.033	0.833	0.961	0.884	ruim
0.904	0.092	0.893	0.904	0.899	bom

=== Confusion Matrix ===

```

a b c d <-- classified as
14 0 0 9 | a = muito_bom
0 44 5 0 | b = regular
0 1 25 0 | c = ruim
8 0 0 75 | d = bom

```

ANEXO 7 - Saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados do índice de temperatura e umidade do ambiente 1 (clima subtropical), no nível de produção menor que 20 litros.animal⁻¹.dia⁻¹

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2 - Relation: Sep produção Br - Dados TR+FR menor que 20-weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R1-2-

Instances: 183 Attributes: 2 ITU int Conforto

Test mode: 10-fold cross-validation

=== Classifier model (full training set) === J48 pruned tree

```

ITU int <= 77.4
| ITU int <= 76.6
| | ITU int <= 75.7
| | | ITU int <= 75.5
| | | | ITU int <= 74.4
| | | | | ITU int <= 73.5
| | | | | ITU int <= 70.5
| | | | | ITU int <= 68.4: bom (3.0)
| | | | | ITU int > 68.4: regular (10.0/1.0)
| | | | | ITU int > 70.5
| | | | | ITU int <= 72.6
| | | | | ITU int <= 70.6: bom (3.0)
| | | | | ITU int > 70.6
| | | | | ITU int <= 71.4: muito_bom (4.0)
| | | | | ITU int > 71.4: bom (3.0)
| | | | | ITU int > 72.6
| | | | | ITU int <= 72.7: regular (6.0)
| | | | | ITU int > 72.7
| | | | | ITU int <= 72.9: bom (3.0)
| | | | | ITU int > 72.9: muito_bom (2.0)
| | | | | ITU int > 73.5: regular (6.0)
| | | | | ITU int > 74.4: muito_bom (9.0/1.0)
| | | | | ITU int > 75.5: bom (8.0)
| | | ITU int > 75.7
| | | ITU int <= 76.4: muito_bom (9.0)
| | | ITU int > 76.4
| | | | ITU int <= 76.5: regular (4.0)
| | | | ITU int > 76.5: muito_bom (10.0/3.0)
| ITU int > 76.6
| | ITU int <= 76.8: bom (22.0/6.0)
| | ITU int > 76.8: regular (4.0/1.0)
ITU int > 77.4

```

```

| ITU int <= 83.4
| | ITU int <= 79.9
| | | ITU int <= 79.1: regular (29.0/1.0)
| | | ITU int > 79.1: ruim (7.0/1.0)
| | ITU int > 79.9: regular (23.0)
| ITU int > 83.4: ruim (18.0)
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
Correctly Classified Instances      157      85.7923 %
Incorrectly Classified Instances    26      14.2077 %
Kappa statistic                    0.7894
Mean absolute error                 0.0857
Root mean squared error            0.2298
Relative absolute error            25.5323 %
Root relative squared error        56.1585 %
Total Number of Instances         183
=== Detailed Accuracy By Class ===
TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  Class
0.867    0.039    0.813     0.867   0.839     muito_bom
0.763    0.069    0.744     0.763   0.753     bom
0.867    0.097    0.897     0.867   0.881     regular
0.96     0.006    0.96      0.96    0.96      ruim
=== Confusion Matrix ===
 a b c d  <-- classified as
26 3 1 0 | a = muito_bom
 2 29 7 0 | b = bom
 4 7 78 1 | c = regular
 0 0 1 24 | d = ruim

```

ANEXO 8 - Saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados do índice de temperatura e umidade do ambiente 1 (clima subtropical), no nível de produção entre 20 e 25 litros.animal⁻¹.dia⁻¹

```

=== Run information ===
Scheme:      weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2 - Relation: Sep produção Br - Dados TR+FR entre 20
e 25-weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R1-2-
Instances:   209      Attributes: 2      ITU int      Conforto
Test mode:   10-fold cross-validation
=== Classifier model (full training set) === J48 pruned tree
ITU int <= 77.4
| ITU int <= 76.6
| | ITU int <= 72.3: muito_bom (29.0)
| | ITU int > 72.3
| | | ITU int <= 75.8
| | | | ITU int <= 75.5
| | | | | ITU int <= 73.9
| | | | | ITU int <= 72.8: regular (3.0)
| | | | | ITU int > 72.8: bom (7.0/3.0)
| | | | ITU int > 73.9
| | | | | ITU int <= 75: muito_bom (12.0/1.0)
| | | | | ITU int > 75: bom (8.0/2.0)
| | | ITU int > 75.5: regular (4.0)
| | ITU int > 75.8: muito_bom (23.0)

```

```

| ITU int > 76.6
| | ITU int <= 76.9: regular (18.0/6.0)
| | ITU int > 76.9
| | | ITU int <= 77: bom (10.0/2.0)
| | | ITU int > 77
| | | | ITU int <= 77.1: muito_bom (3.0)
| | | | ITU int > 77.1: bom (18.0/8.0)
ITU int > 77.4
| ITU int <= 78.3: regular (18.0)
| ITU int > 78.3
| | ITU int <= 78.9: ruim (5.0)
| | ITU int > 78.9
| | | ITU int <= 79.3: regular (11.0)
| | | ITU int > 79.3
| | | | ITU int <= 83.7
| | | | | ITU int <= 81
| | | | | ITU int <= 79.4: ruim (9.0/2.0)
| | | | | ITU int > 79.4: regular (14.0)
| | | | | ITU int > 81: ruim (10.0)
| | | | ITU int > 83.7: regular (7.0)
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
Correctly Classified Instances      181      86.6029 %
Incorrectly Classified Instances    28      13.3971 %
Kappa statistic                    0.8107
Mean absolute error                 0.0941
Root mean squared error             0.2337
Relative absolute error             26.9751 %
Root relative squared error         55.9914 %
Total Number of Instances          209
=== Detailed Accuracy By Class ===
TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  Class
0.818    0.015    0.969     0.818   0.887     muito_bom
0.771    0.098    0.614     0.771   0.684     bom
0.92     0.052    0.908     0.92    0.914     regular
1        0.011    0.917     1        0.957     ruim
=== Confusion Matrix ===
 a b c d  <-- classified as
63 14 0 0 | a = muito_bom
1 27 7 0 | b = bom
1 3 69 2 | c = regular
0 0 0 22 | d = ruim

```

ANEXO 9 - Saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados do índice de temperatura e umidade do ambiente 1 (clima subtropical), no nível de produção maior que 25 litros.animal⁻¹.dia⁻¹

```

=== Run information ===
Scheme:      weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2 - Relation: Sep produção Br - Dados TR+FR maior
que 25-weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R1-2-
Instances:   186      Attributes: 2      ITU int      Conforto
Test mode:   10-fold cross-validation
=== Classifier model (full training set) === J48 pruned tree

```

```

ITU int <= 77
| ITU int <= 72.3
| | ITU int <= 70.9
| | | ITU int <= 68.7: bom (5.0)
| | | ITU int > 68.7: muito_bom (4.0)
| | ITU int > 70.9
| | | ITU int <= 72.1: regular (3.0)
| | | ITU int > 72.1: bom (8.0)
| ITU int > 72.3
| | ITU int <= 76.7
| | | ITU int <= 72.7: muito_bom (16.0)
| | | ITU int > 72.7
| | | | ITU int <= 73: regular (3.0)
| | | | ITU int > 73
| | | | | ITU int <= 76.2
| | | | | ITU int <= 74.3
| | | | | ITU int <= 73.5: muito_bom (15.0)
| | | | | ITU int > 73.5: regular (2.0)
| | | | | ITU int > 74.3
| | | | | ITU int <= 75: bom (4.0)
| | | | | ITU int > 75: muito_bom (17.0)
| | | | ITU int > 76.2
| | | | | ITU int <= 76.6
| | | | | ITU int <= 76.3: regular (6.0/1.0)
| | | | | ITU int > 76.3
| | | | | | ITU int <= 76.4: muito_bom (5.0)
| | | | | | ITU int > 76.4: regular (2.0)
| | | | | ITU int > 76.6: muito_bom (11.0)
| | ITU int > 76.7
| | | ITU int <= 76.9
| | | | ITU int <= 76.8: bom (2.0)
| | | | ITU int > 76.8: muito_bom (3.0)
| | | ITU int > 76.9: bom (6.0/1.0)
ITU int > 77
| ITU int <= 80.6: regular (64.0/7.0)
| ITU int > 80.6
| | ITU int <= 84.7: ruim (8.0/1.0)
| | ITU int > 84.7: regular (2.0)
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
Correctly Classified Instances      165      88.7097 %
Incorrectly Classified Instances    21      11.2903 %
Kappa statistic                    0.8271
Mean absolute error                 0.0795
Root mean squared error             0.2234
Relative absolute error             24.1605 %
Root relative squared error         55.1741 %
Total Number of Instances          186
=== Detailed Accuracy By Class ===
TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  Class
0.973    0.062    0.91      0.973   0.94      muito_bom
0.733    0.019    0.88      0.733   0.8       bom
0.867    0.072    0.89      0.867   0.878    regular
0.875    0.017    0.7       0.875   0.778    ruim
=== Confusion Matrix ===
a b c d <-- classified as      início

```

71	1	1	0		a = muito_bom	73	69
2	22	6	0		b = bom	30	35
5	2	65	3		c = regular	75	62
0	0	1	7		d = ruim	8	20

ANEXO 10 - Saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados do índice de temperatura e umidade do ambiente 2 (clima mediterrâneo), no nível de produção menor que 20 litros.animal⁻¹.dia⁻¹

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2 - Relation: Separados por produção PT - Dados TR+FR menor que 20-weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R1-2-

Instances: 240 Attributes: 2 ITU int Conforto

Test mode: 10-fold cross-validation

=== Classifier model (full training set) === J48 pruned tree

ITU int <= 77.2

| ITU int <= 76.2

| | ITU int <= 72.4

| | | ITU int <= 71.3

| | | | ITU int <= 67.6: bom (12.0)

| | | | ITU int > 67.6

| | | | | ITU int <= 69.1: muito_bom (6.0)

| | | | | ITU int > 69.1: bom (23.0/5.0)

| | | ITU int > 71.3: regular (7.0)

| | ITU int > 72.4: bom (70.0/12.0)

| ITU int > 76.2

| | ITU int <= 76.9: bom (24.0/11.0)

| | ITU int > 76.9: muito_bom (6.0)

ITU int > 77.2

| ITU int <= 79.9

| | ITU int <= 78: regular (26.0)

| | ITU int > 78

| | | ITU int <= 78.4: ruim (8.0)

| | | ITU int > 78.4: regular (24.0)

| ITU int > 79.9

| | ITU int <= 84.6: ruim (22.0/1.0)

| | ITU int > 84.6: regular (12.0)

=== Stratified cross-validation ===

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	193	80.4167 %
--------------------------------	-----	-----------

Incorrectly Classified Instances	47	19.5833 %
----------------------------------	----	-----------

Kappa statistic	0.6854
-----------------	--------

Mean absolute error	0.1375
---------------------	--------

Root mean squared error	0.2757
-------------------------	--------

Relative absolute error	40.8574 %
-------------------------	-----------

Root relative squared error	67.2922 %
-----------------------------	-----------

Total Number of Instances	240
---------------------------	-----

=== Detailed Accuracy By Class ===

TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	Class
0.508	0.028	0.857	0.508	0.709	muito_bom
0.820	0	1	0.820	0.9	regular
1	0.006	0.933	1	0.978	ruim
0.947	0.304	0.639	0.947	0.816	bom

```

=== Confusion Matrix ===
 a b c d  <-- classified as
30 0 0 29 | a = muito_bom
 1 64 2 11 | b = regular
 0 0 28 0 | c = ruim
 4 0 0 71 | d = bom

```

ANEXO 11 - Saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados do índice de temperatura e umidade do ambiente 2 (clima mediterrâneo), no nível de produção entre 20 e 25 litros.animal⁻¹.dia⁻¹

```

=== Run information ===
Scheme:      weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2 - Relation: Separados por produção PT - Dados
TR+FR entre 20 e 25-weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R1-2-
Instances:  105      Attributes:  2      ITU int      Conforto
Test mode:   10-fold cross-validation
=== Classifier model (full training set) ===
J48 pruned tree
-----
ITU int <= 77.2: muito_bom (43.0/8.0)
ITU int > 77.2
| ITU int <= 84.7
| | ITU int <= 79.9: regular (16.0)
| | ITU int > 79.9: ruim (15.0)
| ITU int > 84.7: regular (31.0)
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
Correctly Classified Instances      89      84.7619 %
Incorrectly Classified Instances    16      15.2381 %
Kappa statistic      0.7964
Mean absolute error      0.0991
Root mean squared error      0.2245
Relative absolute error      30.08 %
Root relative squared error      55.4361 %
Total Number of Instances      105
=== Detailed Accuracy By Class ===
TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  Class
 1      0.2      0.750      1      0.852      muito_bom
 1      0      1      1      1      ruim
0.517    0      1      0.517    0.711      bom
0.950    0      1      0.950    0.982      regular
=== Confusion Matrix ===
 a b c d  <-- classified as
48 0 0 0 | a = muito_bom
 0 8 0 0 | b = ruim
15 0 14 0 | c = bom
 1 0 0 19 | d = regular

```

ANEXO 12 - Saída do processo de Mineração de Dados obtida com a base de dados contendo dados do índice de temperatura e umidade do ambiente 2 (clima mediterrâneo), no nível de produção maior que 25 litros.animal⁻¹.dia⁻¹

==== Run information ====

Scheme: weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2 - Relation: Separados por produção PT - Dados TR+FR maior que 25-weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R1-2-

Instances: 181 Attributes: 2 ITU int Conforto

Test mode: 10-fold cross-validation

==== Classifier model (full training set) ==== J48 pruned tree

ITU int <= 76.9

| ITU int <= 72.2

| | ITU int <= 69.2: bom (12.0)

| | ITU int > 69.2: muito_bom (15.0)

| ITU int > 72.2

| | ITU int <= 76.2: bom (57.0/8.0)

| | ITU int > 76.2

| | | ITU int <= 76.7: muito_bom (6.0)

| | | ITU int > 76.7: bom (19.0/4.0)

ITU int > 76.9

| ITU int <= 79.9

| | ITU int <= 78.9

| | | ITU int <= 78.4

| | | | ITU int <= 78.2

| | | | ITU int <= 78: regular (8.0)

| | | | ITU int > 78: ruim (8.0)

| | | ITU int > 78.2: regular (12.0)

| | | ITU int > 78.4: ruim (7.0)

| | ITU int > 78.9: regular (20.0)

| ITU int > 79.9: ruim (17.0)

==== Stratified cross-validation ====

==== Summary ====

Correctly Classified Instances 152 83.9779 %

Incorrectly Classified Instances 29 16.0221 %

Kappa statistic 0.8358

Mean absolute error 0.0838

Root mean squared error 0.2134

Relative absolute error 24.5481 %

Root relative squared error 51.7053 %

Total Number of Instances 181

==== Detailed Accuracy By Class ====

TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	Class
0.556	0	1	0.556	0.714	muito_bom
0.816	0	1	0.816	0.899	regular
1	0	1	1	1	ruim
1	0.197	0.674	1	0.895	bom

==== Confusion Matrix ====

a b c d <-- classified as

25 0 0 20 | a = muito_bom

0 40 0 9 | b = regular

0 0 27 0 | c = ruim

0 0 0 60 | d = bom

ANEXO 13 - Regras de classificação, com pesos, do estado de conforto térmico nos ambientes estudados como função do ITU, da TR (°C) e da FR (mov.min⁻¹)

Se ITU muito bom e TR conforto alto e FR conforto alto , então CONFORTO é muito bom (1,0)
 Se ITU muito bom e TR conforto alto e FR conforto médio , então CONFORTO é bom (1,0)
 Se ITU muito bom e TR conforto alto e FR conforto baixo , então CONFORTO é regular (0,5)
 Se ITU muito bom e TR conforto médio e FR conforto alto , então CONFORTO é bom (1,0)
 Se ITU muito bom e TR conforto médio e FR conforto médio , então CONFORTO é regular (0,3)
 Se ITU muito bom e TR conforto médio e FR conforto baixo , então CONFORTO é regular (0,3)
 Se ITU muito bom e TR conforto baixo e FR conforto alto , então CONFORTO é regular (0,5)
 Se ITU muito bom e TR conforto baixo e FR conforto médio , então CONFORTO é regular (0,3)
 Se ITU muito bom e TR conforto baixo e FR conforto baixo , então CONFORTO é ruim (0,3)
 Se ITU bom e TR conforto alto e FR conforto alto , então CONFORTO é muito bom (1,0)
 Se ITU bom e TR conforto alto e FR conforto médio , então CONFORTO é bom (1,0)
 Se ITU bom e TR conforto alto e FR conforto baixo , então CONFORTO é regular (0,5)
 Se ITU bom e TR conforto médio e FR conforto alto , então CONFORTO é bom (1,0)
 Se ITU bom e TR conforto médio e FR conforto médio , então CONFORTO é regular (0,3)
 Se ITU bom e TR conforto médio e FR conforto baixo , então CONFORTO é regular (0,3)
 Se ITU bom e TR conforto baixo e FR conforto alto , então CONFORTO é regular (0,5)
 Se ITU bom e TR conforto baixo e FR conforto médio , então CONFORTO é regular (0,3)
 Se ITU bom e TR conforto baixo e FR conforto baixo , então CONFORTO é ruim (0,3)
 Se ITU regular e TR conforto alto e FR conforto alto , então CONFORTO é muito bom (0,3)
 Se ITU regular e TR conforto alto e FR conforto médio , então CONFORTO é regular (1,0)
 Se ITU regular e TR conforto alto e FR conforto baixo , então CONFORTO é regular (0,3)
 Se ITU regular e TR conforto médio e FR conforto alto , então CONFORTO é regular (1,0)
 Se ITU regular e TR conforto médio e FR conforto médio , então CONFORTO é regular (1,0)
 Se ITU regular e TR conforto médio e FR conforto baixo , então CONFORTO é ruim (1,0)
 Se ITU regular e TR conforto baixo e FR conforto alto , então CONFORTO é regular (0,3)
 Se ITU regular e TR conforto baixo e FR conforto médio , então CONFORTO é ruim (1,0)
 Se ITU regular e TR conforto baixo e FR conforto baixo , então CONFORTO é ruim (0,3)
 Se ITU ruim e TR conforto alto e FR conforto alto , então CONFORTO é bom (0,3)
 Se ITU ruim e TR conforto alto e FR conforto médio , então CONFORTO é regular (0,3)
 Se ITU ruim e TR conforto alto e FR conforto baixo , então CONFORTO é ruim (0,3)
 Se ITU ruim e TR conforto médio e FR conforto alto , então CONFORTO é regular (0,3)
 Se ITU ruim e TR conforto médio e FR conforto médio , então CONFORTO é regular (0,3)
 Se ITU ruim e TR conforto médio e FR conforto baixo , então CONFORTO é ruim (1,0)
 Se ITU ruim e TR conforto baixo e FR conforto alto , então CONFORTO é ruim (0,3)
 Se ITU ruim e TR conforto baixo e FR conforto médio , então CONFORTO é ruim (1,0)
 Se ITU ruim e TR conforto baixo e FR conforto baixo , então CONFORTO é ruim (1,0)