

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**MODELO PARA PREDIÇÃO DO ESTRO EM VACAS
LEITEIRAS CONFINADAS**

RODRIGO COUTO SANTOS

CAMPINAS
NOVEMBRO DE 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**MODELO PARA PREDIÇÃO DO ESTRO EM VACAS
LEITEIRAS CONFINADAS**

Tese submetida à banca examinadora para
obtenção do título de Doutor em Engenharia
Agrícola na área de concentração em
Construções Rurais e Ambiente.

RODRIGO COUTO SANTOS

Orientadora: Prof^a Dr^a Irenilza de Alencar Nääs

CAMPINAS
NOVEMBRO DE 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Sa59m Santos, Rodrigo Couto
Modelo para predição do estro em vacas leiteiras confinadas. / Rodrigo Couto Santos.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Irenilza de Alencar Nääs
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Vaca. Estro. 3. Lógica difusa. 4. Bovino reprodução. I. Nääs, Irenilza de Alencar. II. Bergamasco, Sonia Maria Pessoa Pereira. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Título em Inglês: Model for prediction of estrus in confined dairy cows

Palavras-chave em Inglês: Dairy cow, Estrus, Fuzzy logic, Cattle reproduction

Área de concentração: Construção Rurais e Ambiência

Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Irineu Arcano Júnior, Luiz Henrique Antunes Rodrigues,
Soraia Vanessa Matarazzo, Tadayuki Yanagi Junior e Victor
Ricardo Ciaco de Carvalho

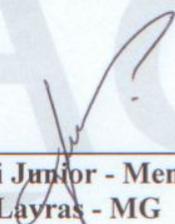
Data da defesa: 14/11/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Tese Doutorado** defendida por **Rodrigo Couto Santos**, aprovada pela Comissão Julgadora em 14 de novembro de 2007, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



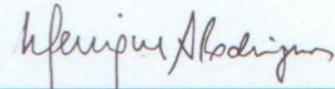
**Profa. Dra. Irenilza de Alencar Nääs - Presidenta
FEAGRI/UNICAMP**



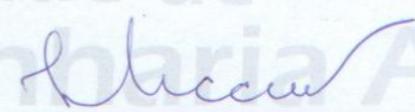
**Dr. Tadayuki Yanagi Junior - Membro Titular
UFLA/Lavras - MG**



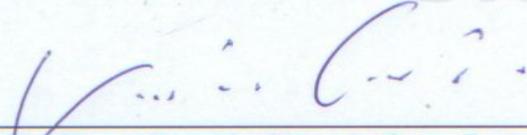
**Dra. Soraia Vanessa Matarazzo - Membro Titular
APTA/Sumaré - SP**



**Prof. Dr. Luiz Henrique Antunes Rodrigues
FEAGRI//UNICAMP**



**Dr. Irineu Arcaro Júnior
APTA/Sumaré - SP**



**Dr. Victor Ricardo Ciaco de Carvalho
CT/UNICAMP**

*À Memória de meu Pai Wilson,
que me ensinou o significado das palavras dignidade e esforço ...*

*À minha Mãe Nívia,
que com muito Amor me educou para a Vida...*

*À minha Esposa Jeane,
por me ajudar nos momentos mais difíceis...*

*À Todos meus familiares, em Especial às Tias,
que sempre estiveram presentes na minha vida.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, saúde e inteligência.

Em especial à Professora Irenilza de Alencar Nääs, pelos ensinamentos, amizade, paciência, orientação, e exemplo de vida.

Ao Projeto ProdetaB por viabilizar a realização desta Pesquisa.

À Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) através da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), pela oportunidade concedida.

Aos professores da UNICAMP, principalmente os da FEAGRI, pelos ensinamentos, críticas e orientações.

Ao Professor Tadayuki Yanagi Jr. pela ajuda dada no início da pesquisa.

À Dr^a. Maria de Fátima Ávila Pires pela ajuda no início da pesquisa.

Aos caros colegas de profissão, os quais convivi durante todo esse período.

À todos os funcionários da FEAGRI, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus irmãos Flavia e Eduardo, pelo carinho, amizade e espírito de família.

Aos meus parentes, que sempre me deram apoio, em especial às tias Joana, Ivone, Francisca, Olga e Isabel (“*in memoriam*”) e ao meu tio Sérgio.

Aos verdadeiros amigos.

À todos que passaram pela minha vida, e que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	4
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1. Aspectos gerais da produção de leite.....	5
3.2. Fundamentos de ambiência na produção bovina de leite	8
3.2.1. O bem-estar animal.....	8
3.2.2. O estresse bovino.....	9
3.2.3. Comportamento bovino	10
3.2.4. A ambiência e a mensuração do bem-estar	11
3.2.5. Caracterização de um ambiente térmico.....	12
3.3. Fisiologia da reprodução.....	19
3.3.1. Desempenho reprodutivo do gado leiteiro em função da exposição climática	20
3.3.2. Desempenho reprodutivo do gado leiteiro em função do manejo	23
3.3.3. Desempenho reprodutivo do gado leiteiro em função do sistema de criação	24
3.3.4. Desempenho reprodutivo do gado leiteiro em função de suas características individuais	26
3.4. A identificação do estro	27
3.4.1. A sincronização do cio	27
3.4.2. Observação visual para identificação do estro	30
3.4.3. Tecnologias utilizadas no auxílio da identificação do estro	31
3.4.4. Eficiência reprodutiva de vacas leiteiras	35
3.5. Sistemas de suporte a decisão	36
3.5.1. Aplicações da Lógica <i>Fuzzy</i>	37
4. MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1. Composição do banco de dados.....	40
4.1.1. Constituição do banco de dados	41
4.1.2. Organização das informações.....	41
4.2. Desenvolvimento do modelo	44
4.3. Teste do modelo proposto.....	46
4.3.1. Descrição dos animais e manejo.....	46
4.3.2. Descrição do alojamento	48
4.3.3. Descrição reprodutiva das vacas	50
4.3.4. Descrição do ambiente climático.....	52
4.3.5. Metodologia de teste e avaliação do modelo.....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1. Análise das funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i>	55
5.1.1. Análise da variável lingüística de entrada índice de temperatura e umidade (ITU)...	56
5.1.2. Análise da variável lingüística de entrada número de comportamentos observados (NCO)	58
5.1.3. Análise da variável lingüística de entrada período após o último cio (PAUC)	60

5.2. Análise da variável lingüística de saída Taxa de Detecção de Cio (TDC)	62
5.3. Análise da base de regras composta pelas proposições <i>fuzzy</i>	63
5.4. Avaliação da base de regras ativada	66
5.4.1. Base de regras ativada para valores ideais.....	67
5.4.2. Base de regras ativada para valores extremos	69
5.5. Superfície 3D	72
5.6. Estudo das informações coletadas na fazenda Campestre	73
5.7. Teste do algoritmo <i>fuzzy</i>	78
6. CONCLUSÕES	81
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	98
Anexo 1 – Glossário de termos técnicos e legendas.....	99
Anexo 2 – Detalhamento da alimentação fornecida aos animais	100
Anexo 3 – Caracterização reprodutiva das vacas	101
Anexo 4 - Caracterização climática da fazenda Campestre.....	109

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Evolução do valor médio pago ao produtor pelo litro de leite tipo C em SP e MG....	7
Tabela 2. Taxa de detecção de estro de vacas leiteiras em função do índice de temperatura e umidade (ITU), período após último cio (PAUC) e número de comportamentos observados (NCO)	43
Tabela 3. Ficha de Identificação de cada animal.....	51
Tabela 4. Representação da base de regras distintas utilizadas na inferência <i>fuzzy</i>	65
Tabela 5. Índice de temperatura e umidade (ITU) da fazenda Campestre.	74
Tabela 6. Índícios visuais de estro identificados pelo tratador.....	75
Tabela 7. Reações fisiológicas reprodutivas	76
Tabela 8. Taxa de detecção de cio (TDC), taxa de concepção (TC) e taxa de prenhez (TP) para as vacas observadas em 21 dias.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diminuição do número de vacas no mundo entre 2000 e 2004 e o aumento da quantidade de leite produzido neste mesmo período.....	5
Figura 2. Evolução da produção nacional de leite no período de 2000 a 2006.....	6
Figura 3. Ciclo estral do gado leiteiro.	31
Figura 4. Atividade relativa e identificação do melhor período para inseminar (TI).....	32
Figura 5. Pedômetro utilizado para monitoramento da movimentação bovina.....	33
Figura 6. Detector eletrônico de cio	34
Figura 7. Configuração básica do <i>fuzzy logic toolbox</i>	46
Figura 8. Vista interna do <i>freestall</i>	48
Figura 9. Visão panorâmica interna do <i>freestall</i> , com detalhe das baias individuais.....	49
Figura 10. Programa gerencial de monitoramento dos pedômetros (tela principal)	50
Figura 11. Tela principal do programa de cálculo de ITU	53
Figura 12. Funções de pertinência admitidas para a variável de entrada “índice de temperatura e umidade” (ITU).	58
Figura 13. Funções de pertinência admitidas para a variável de entrada “número de comportamentos observados” (NCO).....	60
Figura 14. Funções de pertinência admitidas para a variável de entrada “período após o último cio” (PAUC).	61
Figura 15. Funções de pertinência admitidas para a variável de saída “taxa de detecção de cio” (TDC).	63
Figura 16. Base de regras ativada para valores ideais	68
Figura 17. Base de regras ativada para valores de ITU elevados e NCO baixo.....	69
Figura 18. Base de regras ativada para valores de PAUC elevados e NCO normal	70
Figura 19. Base de regras ativada para valores de ITU e PAUC normais e NCO baixo	71
Figura 20. Superfície 3D relacionando NCO, ITU e TDC.....	72
Figura 21. Base de regras ativada para um valor de ITU elevado (emergência).....	79
Figura 22. Base de regras ativada para um valor de ITU favorável (ideal).....	79

RESUMO

A carência existente no setor da pecuária leiteira brasileira, tanto de aumentar a produtividade, quanto de diminuir os custos de produção, tem induzido os produtores a buscarem novos conhecimentos. Desta forma, as relações entre fatores ambientais e respostas fisiológicas do gado leiteiro são de extrema importância durante o processo produtivo. Assim, informações como a época correta de ocorrência do estro não deve ser analisada como uma variável absoluta, já que fatores ambientais, sistema de criação e tipologia das instalações influenciam nas reações fisiológicas do animal. Se a exposição climática pode influenciar no ciclo estral do bovino leiteiro, então qualquer informação que facilite a identificação correta do cio é de grande valia, pois significa diminuição do trabalho e aumento do número de inseminações com sucesso, possuindo assim, valor econômico significativo. A hipótese verificada nesse trabalho foi que é possível minimizar o erro na estimativa de estro em bovino leiteiro, empregando um modelo multivariável com a utilização de tecnologia da informação. O objetivo geral foi estimar a possibilidade de presença de estro em vacas leiteiras utilizando recursos computacionais. Os objetivos específicos foram o levantamento das situações de campo relacionadas ao manejo e condições ambientais de alojamento que influenciem na detecção de estro, o desenvolvimento de um modelo utilizando a lógica *fuzzy*, para estimar a presença de cio e seu respectivo teste. Foram utilizadas informações pertinentes a gado holandês alojados em confinamento total com intervalos de idade, peso e produção pré-definidos. Serviram como variáveis de entrada o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), período após último cio (PAUC) e número de indícios de estro (NCO). Como variável de saída foi considerada a Taxa de Detecção de Cio (TDC). Após o término deste trabalho, concluiu-se que é possível a construção de um modelo baseado na lógica *fuzzy* e dados de ambiência, além de informações fornecidas por especialista, que estime a taxa de detecção de cio para diversos cenários. Além disso, sugere-se melhor treinamento da mão-de-obra destinada ao manejo reprodutivo e observação mais atenta dos animais.

Palavras-chave: Ambiência; Estro Bovino; Lógica *Fuzzy*

ABSTRACT

The existing gap in the Brazilian dairy sector for both increase in productivity, and decrease in production costs has induced producers to search for new knowledge. In this way the relation between environmental factors and dairy cattle physiological responses are of extreme importance during the production process. Therefore information such as time of estrus occurrence should not be analyzed as an absolute variable as environmental factors, rearing system and constructions' typology influence in the animal's physiological response. If the climatic exposition may influence the dairy cows estrus cycle then any information that improve the correct estrus identification is of great value, as it means decrease in losses and increase in success in the process, and meaning significant economical gain. The hypothesis verified in this research was that it is possible to minimize the error in estimating estrus incidence in dairy cows by describing a multivariable model using information technology. This research aimed mainly to estimate the possibility of estrus detection in dairy cows, and the specific objectives were to identify field management conditions and environmental housing scheme that may influence the estrus detection, as well as the development of a model using fuzzy logic for estimating estrus presence, and its respective test. Information pertinent to totally confined Holstein dairy cattle was used such as age interval, weight and pre-defined milk production. Input variables used were the Temperature and Humidity Index (THI), period since last estrus (PSLE) and the number of estrus signals (NES). As output variable there was the estrus detection index (EDI). After this research it was concluded that it was possible the construction of a model based on fuzzy logic and using environmental data, besides the specialist information that helps detecting estrus for several scenarios. Beside that it is suggested better labor training for the workers involved with reproduction management as well as more attention to the animals observation.

Keywords: Environment; Bovine Estrus; *Fuzzy* Logic

1. INTRODUÇÃO

O setor agropecuário brasileiro vem sofrendo profundas mudanças em decorrência da globalização da economia mundial. Com o aumento da concorrência e exigência cada vez maior dos consumidores, os produtores têm investido cada vez mais em tecnologia, com a finalidade de atender a demanda de mercado. Desta forma, novas metodologias que minimizem o tempo de produção e melhorem a qualidade do produto final, tem sido aceitas com grande apreço por grande parte dos criadores. A utilização de equipamentos que quantifiquem os níveis de movimentação animal, como o pedômetro, as análises de comportamento através de câmeras e outros tipos de sensores, a ordenha automatizada e a utilização de *softwares* gerenciais visando melhor controle do manejo, entre outros, atualmente são consideradas soluções interessantes, pois aliam um manejo eficiente a uma medição mais precisa dos níveis de estresse e bem-estar dos animais.

Setores como a suinocultura e avicultura vêm se destacando no cenário nacional e internacional, sendo que grandes investimentos têm sido feitos, principalmente nas áreas de melhoramento genético e instalações. Já a pecuária leiteira, possui índices de produção insatisfatórios, se comparados com outros países produtores de leite. A FAO (2007) mostrou que em 2005, o Brasil teve uma produtividade de 1219 litros de leite por vaca/ano, enquanto que os EUA tiveram uma produtividade de 8881 litros de leite por vaca/ano.

A carência existente no setor da pecuária leiteira, tanto de aumentar a produtividade, quanto de diminuir os custos de produção visando um produto mais competitivo, tem forçado os produtores a buscarem novos conhecimentos para enfrentar a concorrência e melhorar seus níveis de produção. Desta forma, as relações entre fatores ambientais e as respostas fisiológicas do gado leiteiro são de extrema importância durante o processo produtivo, pois podem refletir diretamente na quantidade e qualidade do produto final.

Um dos fatores ambientais que está intimamente ligado ao desempenho bovino leiteiro é a variação térmica ambiental. ALBRIGHT (1990) afirmou que aumentos da temperatura do ar podem causar estresse animal, levando em certos casos até a morte. Assim, segundo BAÊTA e SOUZA (1997), a melhor forma de minimizar estes efeitos negativos é a adaptação destes animais ao ambiente em que estão expostos, mantendo desta forma seus níveis de produção e taxa reprodutiva. Porém, ao se adaptar ao clima tropical, o gado leiteiro, proveniente de regiões de climas temperados, sofre também mudanças fisiológicas, como variações em suas características reprodutivas.

A maioria das informações relacionadas à criação e manejo de gado leiteiro leva em consideração dados obtidos nas regiões de origem destes animais. Assim, informações de extrema importância como a época correta de ocorrência do estro não devem ser analisadas como uma variável absoluta, já que fatores como temperatura, umidade, ventilação, sistema de criação e tipologia das instalações influenciam nas reações fisiológicas do animal, quando exposto a certa temperatura. ARAÚJO (2003) afirmou que não há uma regra única que possa ser adotada em todos os países, nem em todo o território nacional, sem que sejam considerados parâmetros, como adaptação, raça e idade dos animais, nível de produção, características climáticas e instalações existentes, entre outros. Por este motivo, é muito grande o número de pesquisas sobre avaliação do desempenho reprodutivo do gado leiteiro, principalmente com animais de altos índices produtivos.

Além das influências ambientais, muitos insucessos em programas de inseminação estão relacionados às falhas na observação do cio. Por este motivo é cada vez maior o uso da sincronização como artifício que propicie que os cios dos animais de um rebanho ocorram próximos uns aos outros. Porém, esta prática ainda é foco de várias pesquisas científicas, visto que muitas delas apontam para indícios de reflexos negativos causados ao animal, como alterações e desconfortos fisiológicos ou até mesmo influências na qualidade do leite.

Com base neste cenário, a ambiência animal passa a ser uma ferramenta que vem ao encontro das necessidades deste setor, por reunir os conhecimentos necessários sobre produção animal e avaliação ambiental, principalmente através dos índices de conforto. É também através desta ciência que passa a ser possível se propor opções de observação do cio com base na interação animal/ambiente, através de seus indícios fisiológicos e comportamentais.

Porém, segundo McMANUS et al. (2003), para as condições de clima tropical as informações sobre o desempenho reprodutivo de gado leiteiro são ainda muito escassas, sendo que para o caso específico do Brasil os dados existentes estão muito pouco ordenados, não servindo assim, para orientar de forma precisa como identificar o melhor período para as inseminações. Se a exposição a altas temperaturas exerce influência direta no desempenho reprodutivo do animal podendo causar mudanças em seu ciclo estral, então qualquer informação que facilite a identificação correta do cio do gado leiteiro exposto ao clima predominantemente tropical é de grande valia, pois significa diminuição do trabalho e aumento do número de inseminações com sucesso, possuindo assim, valor econômico significativo. Desta forma, é importante que o gado leiteiro exposto às condições climáticas brasileiras seja analisado por especialistas na área, a fim de identificar com maior exatidão o melhor período para inseminar. Como a presença constante deste detentor de conhecimentos nem sempre é possível, a sua substituição em momentos de ausência, por sistemas informatizados de auxílio à tomada de decisões, passa a ser uma saída interessante durante todo o processo produtivo.

A necessidade de aumentar o conhecimento sobre o desempenho reprodutivo das vacas, o grande número de informações concentradas pelos especialistas em Ambiência e a dificuldade de se obter novas formas de redução dos custos no setor leiteiro do país, faz com que seja importante o desenvolvimento de um sistema de suporte à decisão, visando a concentração de informações que auxiliem na detecção do cio, o que justificou a presente investigação.

Com base nesta afirmação, a hipótese verificada nesse trabalho foi que é possível se minimizar o erro na estimativa de estro em bovino leiteiro, sem que seja necessária a utilização de sincronização natural ou induzida, apenas descrevendo um modelo multivariável com a utilização de recursos computacionais.

2. OBJETIVO

Esta pesquisa teve como objetivo geral estimar a possibilidade de presença de estro em vacas leiteiras, utilizando para isto um índice de conforto térmico e modelos multivariáveis dentro da lógica *fuzzy*.

Foram objetivos específicos:

- Levantar as situações de campo e condições ambientais de alojamento que influenciem na detecção de estro em vacas leiteiras, com base na literatura e consulta a um especialista;
- Desenvolver um modelo que utilize o intervalo entre cios, número de indícios de estro e o índice de temperatura e umidade (ITU) para estimar a presença de estro; e
- Testar o modelo com dados de campo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Aspectos gerais da produção de leite

Historicamente, a pecuária leiteira mundial vem sofrendo uma relação inversamente proporcional, na qual o rebanho tem diminuído a cada ano, enquanto a quantidade de leite produzida tem aumentado (Figura 1). Isso é reflexo de um maior investimento direcionado ao setor, principalmente no que tange à novas tecnologias.

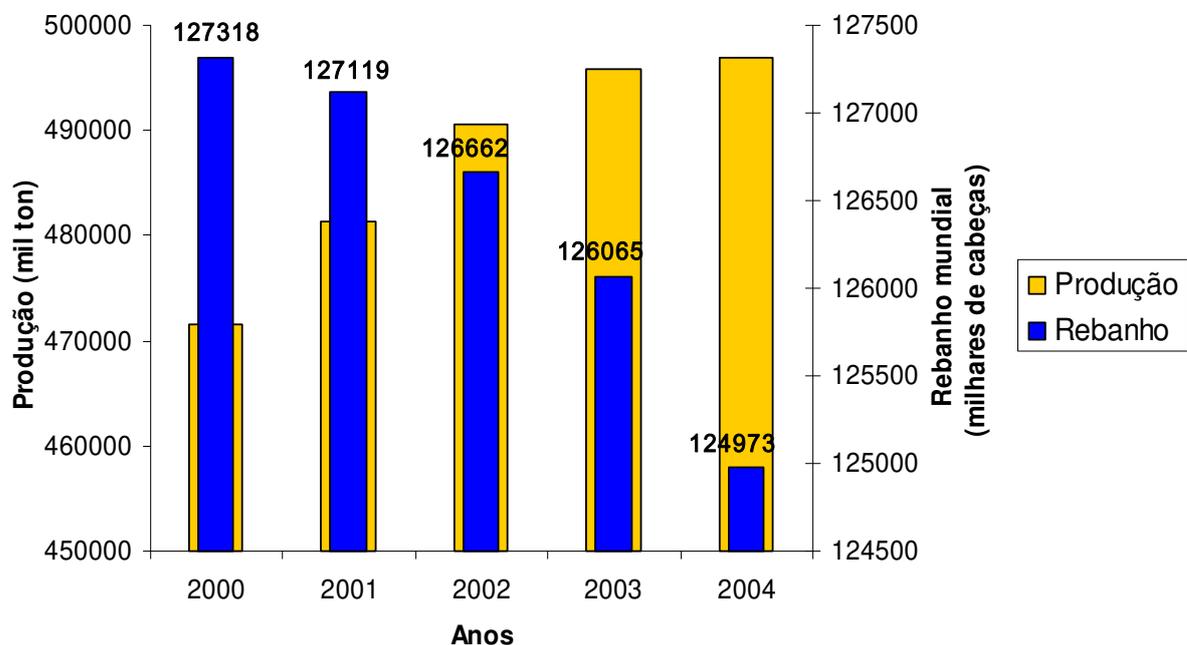


Figura 1. Diminuição do número de vacas no mundo entre 2000 e 2004 e o aumento da quantidade de leite produzido neste mesmo período.

Fonte: FAO, citado por PENSA (2007) (adaptado)

Já o Brasil, mesmo ocupando o sexto lugar em volume de leite produzido no mundo em 2006 (EMBRAPA, 2007), é um dos países que precisa de mais profissionalização no setor, pois, apesar do aumento do custo de mão-de-obra, insumos e equipamentos, por exemplo, o valor pago pelo produto não acompanhou estes reajustes (NICOLAU, 1998), necessitando com isso de um aumento da quantidade produzida, como atividade compensatória para a sobrevivência do setor, conforme pode ser observado na Figura 2.

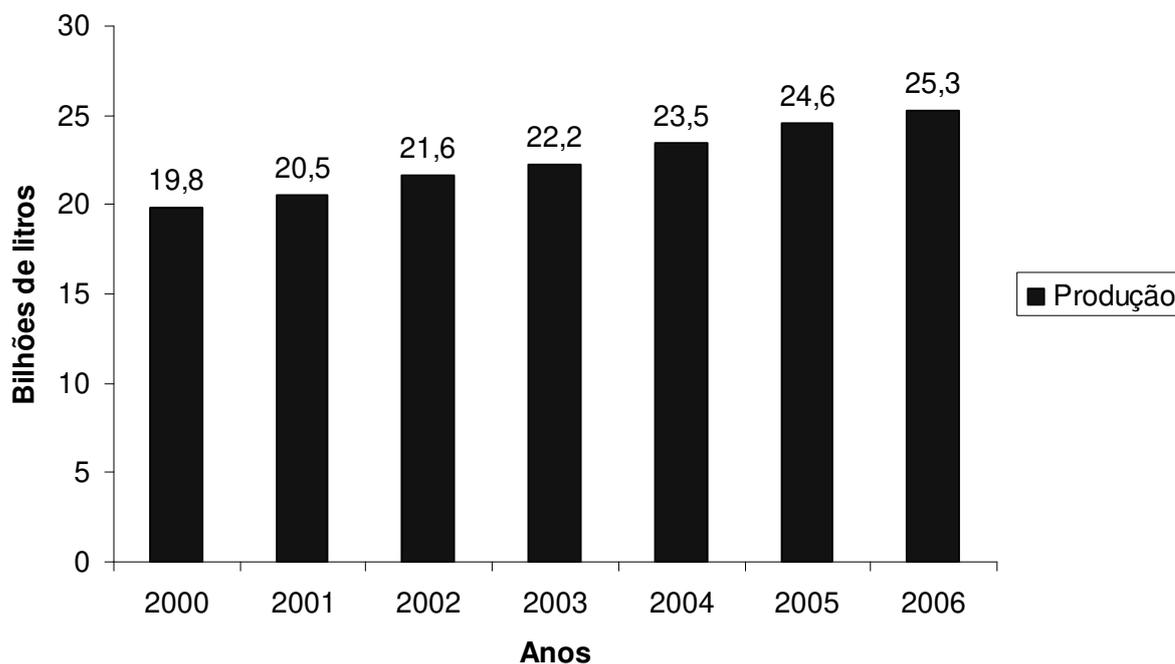


Figura 2. Evolução da produção nacional de leite no período de 2000 a 2006.

Fonte: EMBRAPA (2007)

Segundo HARDOIM (1998), a defasagem ocorrida no setor lácteo pode ser devido a um estágio de latência, enfrentado pela falta de competitividade, em decorrência do regime de proteção à importação. Esta redução pode ser confirmada analisando-se os preços do leite, onde é possível verificar que o valor pago ao produtor brasileiro tem sofrido reduções com o passar dos anos (Tabela 1).

Tabela 1. Evolução do valor médio pago ao produtor pelo litro de leite tipo C em SP e MG.

Mês / ano	Preço (R\$) - SP	Preço (R\$) - MG
Julho/2006	0,54	0,50
Julho/2005	0,58	0,58
Julho/2004	0,58	0,60
Julho/2003	0,59	0,60

Fonte: EMBRAPA (2007)

A carência existente no setor da pecuária leiteira, tanto de aumentar a produtividade, quanto de diminuir os custos, visando um produto mais competitivo, tem forçado os produtores a buscarem novas saídas para enfrentar a concorrência e melhorar seus níveis de produção.

Segundo ARCARO JÚNIOR (2000) a demanda por qualidade, aliada à baixa margem de lucro do setor lácteo, torna a competitividade uma questão de sobrevivência. Assim, as soluções encontradas para este problema são: a elevação do potencial produtivo dos animais e aumento do rebanho leiteiro. O desenvolvimento genético faz com que os animais já estejam alcançando altos índices produtivos. Já o aumento do rebanho leiteiro depende principalmente do número de inseminações realizadas com sucesso. KASTELIC (2001) considerou que pode ser estimado como bom um rebanho onde a taxa de detecção de cio seja superior a 70%.

HAHN (1993) afirmou que certos níveis de estresse podem, na sua extensão, exceder as capacidades de defesa e compensação dos animais, afetando diretamente sua saúde e bem-estar, o que do ponto de vista empresarial, significa alterações que provocam baixo rendimento e desempenho reprodutivo dos animais.

3.2. Fundamentos de ambiência na produção bovina de leite

Segundo BAÊTA e SOUZA (1997),

“Ambiência é a ciência que estuda a inter-relação existente entre o animal e o ambiente de exposição, de forma a identificar as condições de máximo conforto, para que estes possam expressar todo seu potencial genético produtivo.”

KADZERE et al. (2002) afirmaram que este potencial, no caso do gado leiteiro, se encontra em um nível elevado, porém, para que a vaca possa expressá-lo é necessário que ela esteja alojada em um ambiente confortável. Desta forma, é função da ambiência proporcionar bem-estar e estresse e analisar a influência não só da tipologia das instalações, mas também dos demais fatores, como os ambientes aéreo e acústico, nestas sensações. Com base neste estudo é possível traçar um perfil do comportamento animal e, muitas vezes, concluir se este denota bem-estar ou estresse.

Visto que a ambiência auxilia diretamente na logística da produção animal, para que o potencial zootécnico de uma espécie seja otimizado, pensando na sua exploração comercial, é necessário o conhecimento mais amplo de sua biologia, inclusive dos detalhes de seu comportamento (PEIXOTO, 2002).

3.2.1. O bem-estar animal

De acordo com HURNIK (1992),

“O bem-estar animal é o estado em que o animal está em harmonia com o ambiente, suas condições físicas e fisiológicas estão ótimas e não existe desconforto ou estresse.”

Porém, não é tão simples afirmar se um animal está em bem-estar, quando este se sujeita a um determinado tipo de reclusão ou manejo, pois muitas vezes as sensações de frustração, medo ou dor são difíceis de serem identificadas. Assim, segundo PERISSINOTTO

(2003), simultaneamente às questões ambientais e a segurança alimentar, o estudo do bem-estar vem sendo considerado entre os três maiores desafios dos pesquisadores.

FRASER (1999) afirmou que a conceitualização do bem-estar animal resume-se no fato de que os animais devem sentir-se bem, funcionar bem e terem reações naturais quando expostos a uma determinada situação. Estes pontos implicam basicamente na ausência de medo e dor, saúde perfeita e condições de reagir e se adaptar naturalmente à variações ambientais.

Segundo FAWC (2004), para existir bem-estar animal, é necessário que este tenha acesso à cinco liberdades essenciais:

1. Liberdade fisiológica, que se resume na ausência de fome e de sede;
2. Liberdade ambiental, de viver em ambiente adequado e confortável;
3. Liberdade sanitária onde o animal não deve ser exposto a doenças, injúrias ou dor;
4. Liberdade comportamental de expressar seu comportamento natural; e
5. Liberdade psicológica que se refere à ausência de medo e ansiedade.

Porém é difícil que um animal consiga ser plenamente atendido pelas cinco liberdades, por serem elas muito abrangentes. Segundo SWANSON (1995), a magnitude do bem-estar engloba três aspectos distintos, que são: o público, relacionado ao ponto de vista da sociedade civil frente às questões inerentes a animais; o técnico, que se baseia em informações científicas para afirmar se um animal está efetivamente sofrendo estresse ou bem-estar; e o legal, que estabelece os limites entre as divergências dos aspectos público e técnico, ou seja, define padrões mínimos de normas baseadas em dados técnicos e anseios da sociedade.

Quanto mais o bovino leiteiro se aproximar do estado de bem-estar, melhor será sua conversão alimentar, resistência à doenças oportunistas, crescimento e exploração do seu potencial genético produtivo. Dessa forma, as alterações no ciclo reprodutivo da vaca serão minimizadas.

3.2.2. O estresse bovino

Estresse é a incapacidade de um animal lidar com o ambiente em que está exposto, o que reflete diretamente em seu potencial genético e produtivo. Assim, ao passar por situações de estresse, o gado leiteiro fica mais susceptível a problemas que influenciam no crescimento,

rendimento do leite, resistência às doenças e principalmente fertilidade (DOBSON e SMITH, 2000).

O estresse é um termo geral que traduz a necessidade do corpo em se acostumar a algo que não está adaptado. Um animal está em estado de estresse, quando passa a ocorrer modificações 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 ocorrem para tentar manter a homeostase, o equilíbrio de suas funções, e a integração desses três sistemas (VAN BORELL, 1995).

Fatores como o ambiente térmico, formas de manejo, sistemas de criação e características individuais do gado leiteiro estão diretamente relacionados com a maior ou menor tolerância destes animais a situações de estresse. Por isso é de grande importância que sejam analisadas as condições em que o gado está exposto, a fim de minimizar perdas na produção. Em alguns casos, mudanças nos padrões do comportamento são as únicas indicações de que o estresse está presente (PIRES et al., 1998). Desta forma, a ambiência passa a ser uma ciência de extrema importância na cadeia produtiva, pois é através dela, utilizando-se de índices, análises de imagens e coletas de dados, entre outros, que se consegue quantificar e qualificar os níveis de estresse em que os animais estão submetidos, e principalmente, em conjunto com outras ciências, propor soluções para os problemas encontrados.

3.2.3. Comportamento bovino

Naturalmente, o comportamento animal segue determinados padrões podendo ser um ato único ou uma série de atividades conjuntas, que representam uma resposta do animal a algum estímulo ambiental. Assim, uma dada alteração ambiental além de produzir uma resposta comportamental, pode também causar mudanças fisiológicas, como forma de adaptação ao meio.

De acordo com FRANÇOIS et al. (1998) as informações sobre o comportamento dos animais têm sido utilizadas cada vez mais no desenvolvimento de novas técnicas de manejo e de produção. Porém, ainda segundo este autor, informações coletadas na natureza devem ser vistas com cuidado, pois podem sofrer variações quando comparados à situações de cativeiro,

uma vez que o ambiente de exposição influi diferentemente no comportamento e bem-estar destes animais.

Nos casos em que o gado leiteiro é criado à solta, onde os touros e as fêmeas convivem no mesmo espaço, naturalmente, quando uma vaca entra no estro, já aparece um touro para fazer a monta, por ser este um comportamento natural entre animais que convivem juntos. Isto já é uma restrição que acontece nos casos onde os animais são criados em confinamento, limitando comportamentos reprodutivos normais, pois nem sempre os machos estão próximos às fêmeas. Sendo assim, o conhecimento dos indícios de que um animal entrará no cio passa a ser de grande importância, e nem sempre é facilmente identificado, já que, dependendo da relação animal-ambiente, tanto os indícios de estro, quanto a duração do mesmo podem se alterar. Por este motivo, de acordo com KING et al. (1976), um número substancial das fêmeas pode passar pela fase de ovulação sem ser detectada.

Conforme vários estudos ligados à ambiência animal, o confinamento total, o transporte e mesmo as atividades rotineiras da fazenda tais como a alimentação ou ordenha fornecem distrações e afligem os animais, o quê pode interferir em seu comportamento sexual (MOBERG, 1987). Da mesma forma, idade, saúde, facilidades físicas, tamanho e composição do grupo, e até mesmo a presença de observadores pode também modificar o comportamento animal (RODTIAN et al., 1996). Em condições de limitação de espaço, alta densidade animal, presença de microorganismos, temperatura e luminosidade inadequadas, ruídos, dentre outros, o animal poderá ficar impossibilitado de desenvolver seu sistema natural de comportamento (MACHADO FILHO, 1998).

3.2.4. A ambiência e a mensuração do bem-estar

Face aos novos paradigmas do setor produtivo e necessidade de se mapear os níveis de estresse e bem-estar do bovino leiteiro, a ambiência tem cada vez mais interagida com especialistas de outras áreas através de estudos multidisciplinares. Baseada na análise ambiental, de comportamento e nos índices de conforto animal, novas tecnologias para mensurar e auxiliar na produção animal vem sendo criadas. É o caso das novas técnicas informatizadas de rastreabilidade, telemetria e programas computacionais de simulação, entre outros.

Ao se fazer medição das atividades metabólicas de um animal, é possível observar que podem ocorrer oscilações de valores com o tempo, o que pode ser explicado pelas mudanças nas propriedades térmicas do ambiente, em seus níveis de atividade, em seus processos fisiológicos ou combinações de qualquer um destes. Estas oscilações são responsáveis pelas sensações de desconforto do animal, o que, de acordo com a ambiência, reflete diretamente no seu desempenho produtivo e reprodutivo. Dessa forma, partindo do princípio de que os animais expostos a climas adversos sofrem alterações em seus níveis de bem-estar, é importante que as pesquisas realizadas sobre a produtividade do gado leiteiro criado em confinamento levem em consideração a relação entre suas atividades termorregulatórias e os efeitos térmicos do ambiente.

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 atividades anormais, que representam comportamentos diferenciados em um ambiente natural (PERISSINOTTO, 2003).

Visto que o bovino leiteiro apresenta variações fisiológicas e comportamentais quando exposto a um ambiente diferente de seu local de origem, de acordo com HEAD (1995) o principal fator que deve ser considerado para garantir o conforto ao animal, em países tropicais e subtropicais, é minimizar os efeitos do estresse térmico. Desta forma, ainda segundo este autor, as condições climáticas nessas regiões são um grande desafio aos produtores, por alterarem a manutenção, produção e reprodução das vacas.

3.2.5. Caracterização de um ambiente térmico

O estresse climático é função da temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, vento, características corporais, entre outros, podendo resultar em decréscimo na produção de leite e distúrbios reprodutivos. Neste caso, o conforto animal pode ser quantificado através dos índices de conforto animal, que geralmente estão relacionados a um estudo da temperatura de exposição, pois o ambiente térmico é o que mais afeta o crescimento, produção e reprodução bovina. IGONO et al. (1992) realizaram estudos para observar a influência do clima na

produção de leite e concluíram que, para as condições em que o experimento foi realizado, a melhor produção diária de leite ocorreu nos períodos com temperaturas do ar mais amenas.

Segundo SANTOS (2001) a caracterização de um ambiente térmico pode ser feita, registrando-se temperaturas de bulbo seco (Tbs), bulbo úmido (Tbu), de globo negro (Tgn) e velocidade do ar (Var) no interior de cada instalação e no ambiente externo. MORAES (1999) e RIVERO (1986) afirmaram que o binômio temperatura média do ar e umidade relativa do ar, indica se o microclima local está próximo à zona de conforto térmico de um animal.

Com exceção da radiação, todos os componentes de um ambiente térmico são normalmente mensurados nos sistemas de produção animal. Segundo BEDFORD e WARNER (1934) o termômetro de globo negro é um instrumento prático para se verificar a influência da radiação incidente sobre um corpo. De acordo com BOND e KELLY (1955) a temperatura de globo negro (Tgn) indica os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar, servindo assim para indicar o nível de conforto térmico animal. A simplicidade de construção e aplicação faz do termômetro de globo negro um instrumento ambiental que é adaptável a muitos problemas de pesquisa agrícola. Em investigações envolvendo ambiente animal, o termômetro de globo negro deve ser instalado o mais próximo possível da altura do centro de gravidade dos animais estudados (SANTOS, 2001).

A velocidade do ar (Var) influencia diretamente na sensação térmica animal. Assim, muitas vezes, os efeitos negativos de altas temperaturas combinadas com umidades relativas elevadas, são minimizados quando se tem a presença de ventos. Porém, em situações de baixas temperaturas, os ventos podem ser prejudiciais, pois multiplicam os efeitos danosos do frio. A velocidade do ar pode ser medida facilmente utilizando-se um anemômetro.

A partir da combinação destas variáveis climáticas, vários índices podem ser obtidos para a quantificação dos níveis de conforto térmico ambiental, merecendo destaque o índice de temperatura e umidade (ITU), o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e a carga térmica radiante (CTR). Segundo SILVA (2000) existem vários índices de conforto que têm a finalidade de quantificar e qualificar o conforto animal quando exposto a diversos tipos de ambiente. Assim, os índices de conforto térmico passam a ser uma ferramenta de grande importância na ambiência, para a avaliação do bem-estar bovino.

3.2.5.1. Índice de temperatura e umidade (ITU)

O índice de temperatura e umidade (ITU) engloba os efeitos combinados da temperatura de bulbo seco e umidade. CARGILL e STEWART (1966) relacionaram a produção de leite em bovinos com o ITU, e ao término do experimento observaram uma notável queda produtiva, diretamente relacionada ao aumento dos valores de ITU. Assim, este passou a ser um dos índices de avaliação do conforto animal mais utilizado por pesquisadores, principalmente por ser de fácil mensuração (BUFFINGTON et al., 1981). Existem algumas variações quanto à metodologia de obtenção deste índice. Segundo JOHNSON (1980), o ITU pode ser calculado através da expressão:

$$ITU = Tbs + 0,36Tpo + 41,2 \quad \text{Eq. 1}$$

em que,

ITU é adimensional;

Tbs = temperatura de Bulbo Seco, °C;

Tbu = temperatura de Bulbo Úmido, °C.

Outra forma de determinação do ITU, adotada por MOLLO NETO (2007) é com a utilização da expressão:

$$ITU = 0,8.Tbs + UR.(Tbs - 14,3)/100 + 46,3 \quad \text{Eq. 2}$$

em que,

ITU é adimensional;

Tbs = temperatura de Bulbo Seco, °C;

UR = unidade relativa, %.

Desde que o ITU passou a ser adotado por grande parte dos pesquisadores para se avaliar o ambiente térmico de exposição dos animais, vários ajustes e considerações tem sido feitos quanto a utilização deste índice, visto que para cada região, não se pode ignorar o fator

adaptação e as particularidades de cada experimento, gerando assim diferentes intervalos de estresse e conforto para os animais em questão. Por esta razão, muitos pesquisadores citam diferentes intervalos de ITU de conforto e de estresse, além de ponderarem sobre outros fatores que influenciam ou são influenciados por este índice.

De acordo com COLLIER et al. (2006), vacas leiteiras submetidas ao estresse térmico apresentam características específicas, as quais refletem diretamente na produção, reprodução e bem-estar destes animais.

ROSENBERG et al. (1983) traçaram uma relação entre o ITU e seus níveis de alerta. De acordo com os autores, valores entre 75 e 78 significam alerta para o produtor a fim de evitar perdas na produção; entre 79 e 84 perigo, principalmente para rebanhos confinados; e quando superior a 85 devem ser tomadas providências urgentes, para evitar morte de animais.

Outra classificação do ITU para animais domésticos, descrita por *Livestock Weather Safety Index* (LWSI) se encontra nos trabalhos de HAHN (1985) e DU PREEZ et al. (1990), onde um ITU de valor igual ou menor a 70 significa normal; entre 71 e 78 - alerta; entre 79 e 83 – perigo; e superior a 83 – emergência. Porém, SILVA (2000) ressalta que essa classificação só deve ser aceita para locais onde as condições climáticas são parecidas às dos Estados Unidos.

JOHNSON et al. (1963) relatou que a produção de leite e a ingestão de matéria seca de vacas holandesas em lactação apresentaram decréscimo significativo quando o ITU atingia um valor máximo de 77. Tais estudos forneceram informações precisas dos efeitos das altas temperaturas do ar sobre a produção de vacas Holandesas. Ainda segundo JOHNSON (1980) valores de ITU acima de 72 já é o suficiente para causar estresse nestes animais.

Ao dissertar sobre o assunto, AGUIAR e TARGA (1996) e MATARAZZO et al. (2003) colocam que a maioria das pesquisas desenvolvidas com a finalidade de se traçar ligações entre ITU e estresse bovino, leva em consideração apenas as condições ambientais verificadas no dia de ocorrência do estresse. Entretanto, pode ser que não haja este sincronismo entre os eventos ambientais e as respostas na produção de leite. WEST (2003) estudou a influência do ambiente térmico na produção de leite nos dois dias que antecediam a ocorrência do estresse. Ao final do experimento, concluiu que o impacto das variáveis ambientais sobre a produção de leite é atrasado, e pode ser relatado por alteração na ingestão

de alimentos, demora na utilização dos nutrientes ingeridos ou mudanças no status endócrino da vaca.

Mais recentemente, BERMAN (2005) afirmou que não é tão direta a relação existente entre o ITU e a produção de leite, pois o estresse bovino também é influenciado por outras variáveis como a velocidade do ar, radiação solar, fatores sociais e características fisiológicas. Seguindo esta linha de raciocínio, MATARAZZO (2004) avaliou vacas Holandesas de um rebanho comercial na região Sudeste do Brasil e observou que, mesmo sob um ambiente considerado desconfortável, com ITU acima de 75, as variáveis temperatura retal e frequência respiratória não indicaram presença de estresse. VERWOERD et al. (2006) estudaram a relação existente entre as alterações fisiológicas de vacas leiteiras em lactação e mudanças ambientais. Em sua pesquisa, os autores expuseram o gado leiteiro a ambientes adversos de calor e mediram, neste período experimental, a temperatura interna (corporal) e batimentos cardíacos dos animais. Traçaram uma relação com as variações ambientais, representadas pelo ITU. No final do experimento concluíram que há uma maior atividade cardíaca e conseqüente elevação da temperatura corporal, em animais expostos a ITU maior que 72, porém isso não representa que os animais estão em estresse.

Isto posto, MARTELLO (2006) afirmou que as relações entre ITU e o desempenho animal ainda não estão claras, visto que em função da contínua adaptação destes animais ao clima tropical, os limites de estresse representados por este índice ainda não estão bem definidos. Desta forma, este índice, embora seja uma ferramenta de extrema importância na identificação de situações ambientais de estresse, não deve ser utilizado como única forma de avaliação do bovino leiteiro, devendo ser analisada em conjunto com outros indícios de desconforto destes animais.

3.2.5.2. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

O fato do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) incorporar a temperatura de bulbo seco, umidade e temperatura de globo negro, faz com que este seja o índice mais preciso para se avaliar o conforto térmico de bovino leiteiro em regiões tropicais (BUFFINGTON et al., 1977). Porém, segundo BUFFINGTON et al. (1981) sob condições em que os níveis de radiação solar ou velocidade do vento são moderados, o ITU e ITGU são

igualmente eficientes na avaliação do conforto térmico animal. Ainda segundo estes autores, existe uma relação entre o ITGU e os níveis de produção de leite e eficiência reprodutiva do gado leiteiro.

O ITGU pode ser calculado pela equação:

$$ITGU = Tgn + 0,36.Tpo - 330,08 \quad \text{Eq. 3}$$

em que,

ITGU é adimensional;

Tgn = temperatura de globo negro, K;

Tpo = temperatura de ponto de orvalho, K.

Conforme citação feita por CAMPOS (1986), a temperatura do ponto de orvalho (Tpo), pode ser obtida através da equação de Clausius-Clapeyron, abaixo:

$$Tpo = \frac{1}{(0,0037 - \ln(\frac{e}{611})).0,000185} \quad \text{Eq. 4}$$

em que,

e = pressão de vapor d'água, Pa, calculada pela expressão:

$$e = e_{su} - A.P.(Tbs - Tbu) \quad \text{Eq. 5}$$

onde,

e_{su} = pressão de saturação do vapor d'água na temperatura do bulbo úmido, Pa;

A = constante psicrométrica = $0,00067. K^{-1}$;

P = pressão atmosférica, Pa;

Tbs = Temperatura de bulbo seco, K;

Tbu = temperatura de bulbo úmido, K.

A pressão de saturação do vapor d'água na temperatura do bulbo úmido pode ser obtida substituindo-se T_{bs} por T_{bu} na equação para o cálculo da pressão de vapor de saturação:

$$e_s = 611 \cdot \exp \left(5420 \left(0,0037 - \frac{1}{T_{bs}} \right) \right) \quad \text{Eq. 6}$$

em que,

e_s = pressão de vapor de saturação, Pa;

T_{bs} = Temperatura de bulbo seco, K.

3.2.5.3. Carga térmica de radiação (CTR)

A carga térmica de radiação (CTR) é a energia térmica trocada por um indivíduo, através de radiação, com o ambiente em que está exposto (SILVA, 2000). Sob condições de clima tropical, o animal pode estar exposto a elevadas CTR, resultando em alto nível de desconforto. De acordo com ESMAY (1969) a CTR é uma outra forma de se indicar o conforto térmico em uma instalação, a qual, em condições de regime permanente, expressa a radiação total recebida pelo globo negro de todos os espaços ou partes da vizinhança, podendo ser determinada pela equação de Stefan-Boltzmann à seguir:

$$CTR = \sigma (TRM)^4 \quad \text{Eq. 7}$$

em que,

CTR = carga térmica de radiação, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$;

σ = constante de Stefan-Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$;

TRM = temperatura radiante média, K.

A TRM é calculada pela expressão:

$$TRM = 100 \sqrt[4]{2,51 \cdot v^{0,5} \cdot (Tgn - Tbs) + (Tgn/100)^4} \quad \text{Eq. 8}$$

em que,

v = velocidade do ar, m.s^{-1} ;

Tgn = temperatura de globo negro, K.

Tbs = temperatura de bulbo seco, K.

3.3. Fisiologia da reprodução

Segundo SILVA et al. (2002), o animal é uma máquina biológica que, para expressar seu desempenho biológico máximo, deve trabalhar sobre ótimas condições ambientais. Desta forma este passa a ser um dos maiores limitantes da pecuária leiteira nos trópicos, onde os animais de origem europeia sofrem alterações fisiológicas e comportamentais, provocadas em grande parte pelo estresse térmico.

PUTNEY et al. (1989) afirmaram que o estresse fisiológico causado em uma vaca afeta diretamente a sua capacidade de reprodução, podendo ocasionar danos ao óvulo, esperma ou embrião. O útero também pode ser afetado, causando mudanças nos níveis de hormônios esteróides. Ainda segundo este autor, o estresse afeta a eficiência reprodutiva pela dificuldade de detecção de estro, pois vacas estressadas são menos ativas, podendo sofrer uma redução de até seis horas no período de cio.

Assim, o sucesso de um criador está intimamente ligado à forma como este lida com seu rebanho. São de extrema importância os níveis de estresse, bem como o bem-estar, aos quais os animais estão submetidos. Dentre os diversos fatores que influenciam na produção e desempenho reprodutivo de um bovino, destacam-se o clima de exposição, formas de manejo, sistema de criação e as características individuais de cada animal.

3.3.1. Desempenho reprodutivo do gado leiteiro em função da exposição climática

Grande parte do Brasil situa-se próximo à linha do Equador, onde predomina o clima tropical, com temperaturas elevadas a maior parte do ano, em decorrência da elevada radiação solar incidente. TITTO (1998) afirma que a temperatura média do ar no país é maior que 20°C e a temperatura máxima pode atingir, muitas vezes, valores acima de 35°C. Visto que o Brasil é um país de clima quente, segundo SANTOS (2001), fatores ambientais são de extrema importância durante o processo produtivo, pois podem refletir diretamente nas reações animais. Desta forma, faz-se necessário o conhecimento e aplicação do maior número de informações relacionadas ao ambiente de exposição do gado leiteiro, para que se tenha um efetivo conhecimento do seu ciclo estral, e a partir daí, se possa identificar com maior precisão qual o melhor momento para se inseminar.

A zona de conforto térmico ou termoneutralidade varia de uma espécie para outra, ou entre indivíduos de uma mesma espécie. As adaptações sofridas por um animal a um ambiente adverso, também podem alterar sua faixa de termoneutralidade, objetivando sua sobrevivência, reprodução e produção em condições extremas. Com base nestas informações, é importante afirmar que os animais nativos de uma determinada região, ao serem levados para outra, com clima diferente, sofrem adaptações, principalmente climáticas, as quais acabam refletindo em seu ciclo reprodutivo. Assim, é importante que um animal se encontre em sua zona de termoneutralidade, pois seu desgaste fisiológico com a manutenção térmica é mínimo, a temperatura corporal e ingestão de água e alimentos são normais, e a retenção da energia absorvida na alimentação é máxima, o que reflete positivamente na produção (BACCARI JÚNIOR, 1998).

Diversos fatores afetam o desempenho reprodutivo do gado leiteiro, sendo que o de maior impacto é o que está relacionado com estresse térmico, podendo ser verificado por reduções nas taxas de fertilização com sucesso e perdas mais elevadas durante a gestação. O grau de influência do ambiente de exposição na fertilidade do gado leiteiro depende da severidade do estresse térmico sofrido. O fato de a maior infertilidade ocorrer no verão se dá pelo fato do calor alterar e até danificar o sistema reprodutivo (WOLFENSON et al., 2000). Dessa forma, melhorias nos programas reprodutivos de rebanhos leiteiros devem ser embasados na relação entre adaptação térmica e taxas de fertilização do gado, visando uma

otimização dos casos de concepção com sucesso e conseqüente aumento produtivo (SANTOS et al., 2004).

Segundo VANZIN (2006), os animais são caracterizados pela sua informação genética mais a influência do meio ambiente, sendo que sua fertilidade é diretamente afetada pelo clima de exposição. ARMSTRONG (1994) e BLACKSHAW (1994) afirmaram que em condições de altas temperaturas, os mecanismos de dissipação corporal do gado leiteiro são influenciados principalmente pela umidade relativa, velocidade do vento e fatores fisiológicos. Assim, a dificuldade de se manter um animal na homeostase pode causar uma redução em seu potencial produtivo e reprodutivo. Desta forma, é interessante que o gado leiteiro esteja sempre em situações de conforto, pois há um maior sincronismo entre os estros ocorridos no rebanho e maior proximidade entre os partos e as inseminações, refletindo nos custos de produção.

Embora a genética das vacas produtoras de leite tenha origem em países de clima temperado, tem se verificado uma eminente adaptação desses animais às situações de climas quentes. Por este motivo, existe uma grande variação na literatura sobre as temperaturas de conforto, crítica superior e inferior (MATARAZZO, 2004). Isso pode estar ocorrendo como conseqüência das diferentes condições as quais os experimentos têm sido realizados e também pela maior adaptação dos animais ao ambiente de exposição, com o passar do tempo.

Segundo NÄÄS (1989), de uma maneira geral, pode-se considerar que os limites admissíveis de temperatura para que a maioria dos ruminantes esteja em conforto térmico sejam de 13 a 18°C. No caso particular de vacas holandesas em lactação, a faixa entre as temperaturas crítica mínima e máxima é de 4 e 24°C. Já, HUBER (1990) considerou como adequadas para o conforto térmico de vacas em lactação temperatura do ar entre 4 e 26°C. Ao se analisar o limite crítico superior, o qual representa a maior possibilidade de estresse térmico por calor, FUQUAY (1997) verificou que o gado europeu pelo fato de estar se adaptando ao clima tropical, havia ampliado seu valor de temperatura crítica superior até 27°C. Porém, TITTO (1998) afirma que ao se relacionar temperatura com umidade relativa e radiação solar direta, os limites críticos podem ser restringidos para 7 a 21°C.

Ainda analisando-se o binômio temperatura x umidade relativa do ar, de acordo com WEST (2003), quando a temperatura ambiente for superior a 29°C com umidade relativa de 40%, as produções das vacas Holandesas equivalem a 97% da produção normal de leite.

Porém, se a umidade relativa é igual a 90%, a produção de leite se reduz a 69% do normal. Isto indica que o estresse térmico, quando associado a uma alta umidade tem seus efeitos negativos acentuados. De acordo com RENSIS e SCARAMUZZI (2003), vacas leiteiras inseminadas durante os meses quentes do ano além de estarem sujeitas a um possível comprometimento da fertilidade, também diminuem seus indícios de identificação de estro e reduzem seu apetite e consumo de matéria seca, sendo estes fatos decorrentes principalmente das altas temperaturas combinadas com elevados índices de umidade do ar. McDOWELL (1975) afirmou que a umidade relativa ideal para vacas da raça holandesa criadas em clima tropical, deve ser próxima de 70%, não devendo passar deste valor.

Outro fator climático diretamente ligado ao estresse sofrido por vacas em lactação é a velocidade do ar. De acordo com ARCARO JÚNIOR (2000), uma ventilação adequada dentro de uma edificação não implica apenas na manutenção térmica, mas também na remoção do excesso de umidade e dispersão de gases e poeiras, a chamada ventilação higiênica.

Em experimento realizado por FRAZZI et al. (1997), onde se avaliou a relação entre a velocidade do ar e o estresse térmico sofrido por vacas holandesas alojadas em um sistema parcialmente fechado, pode-se concluir que ventos de $0,5\text{m.s}^{-1}$ foram o suficiente para neutralizar os efeitos negativos do estresse causados pelo calor. Porém, segundo MÜLLER (1982), se o vento for direcionado para os animais, este não deve ultrapassar $0,2\text{m.s}^{-1}$, caso contrário, poderão acarretar em problemas pulmonares.

Mesmo com a utilização de sistemas de arrefecimento térmico em fazendas leiteiras, a exposição a ambientes quentes ainda influencia o sistema reprodutivo das vacas. Quando estas estão expostas às altas temperaturas do verão, características fisiológicas, como a concentração de progesterona e atividade secretora, são comprometidas. Além destes efeitos imediatos, problemas posteriores também podem surgir em decorrência deste ambiente quente, como a baixa fertilidade do gado, prolongada até os meses mais frescos de outono. Dessa forma torna-se importante a utilização de um programa correto de inseminações, de forma a diminuir cios vazios e silenciosos durante o verão.

Testes realizados em gado leiteiro com a intenção de se comprovar a influência do estresse térmico na reprodução, indicaram que houve uma redução na duração e intensidade do estro destes animais. Além disso, o estresse por calor apresentou outros indícios como a

diminuição da atividade motora e ocorrência de cio, reduzindo, assim, o número de montas (NOBEL et al., 1997).

HANSEN et al. (1992) também afirmaram que o estresse térmico reduz o número de vacas que concebem, além de aumentar a quantidade de estros não identificados, pelo fato dos cios ficarem mais curtos e seus sintomas menos visíveis. Complementa que além do estresse térmico, fator este responsável por distúrbios hormonais, o manejo inadequado também causa cio silencioso.

3.3.2. Desempenho reprodutivo do gado leiteiro em função do manejo

A maneira como um animal é tratado durante o processo produtivo, influencia direta e indiretamente no seu bem-estar, refletindo em seu desempenho. O estresse causado por um manejo inadequado acaba tornando o animal mais sensível, podendo causar mudanças fisiológicas que muitas vezes alteram seu desempenho reprodutivo.

De acordo com BARUSELLI (2006) manejo é um termo amplo que diz respeito a todas as atividades diariamente desenvolvidas com o rebanho. Os distúrbios carenciais, devidos à insuficiente nutrição (incluindo minerais), são responsáveis por perdas econômicas consideráveis, já que reduzem a produção e reprodução dos rebanhos. Os animais a serem submetidos ao programa de inseminação artificial devem receber boa alimentação, suplementação mineral e água de boa qualidade. Ainda segundo este autor, estas são condições que atendem não apenas às necessidades diárias básicas, como ainda servem para manter ou ganhar peso, produzir leite para desmamar um bezerro satisfatoriamente, no caso de bovino de corte e, principalmente atingir índices nutricionais para manter as suas funções reprodutivas ideais. Portanto, animais destinados à estação reprodutiva, devem receber suplementação mineral de melhor qualidade, pelo menos 30 dias antes deste período e também durante a estação.

Segundo EUROPEAN COMMISSION (2001), o número de animais criados em uma propriedade tem crescido significativamente nas últimas décadas e conseqüentemente o tempo gasto pelo tratador em vários momentos do manejo individual de cada animal reduzido. Dessa forma, a familiaridade dos animais aos seres humanos tem diminuído e as reações de estresse decorrentes de reações defensivas aumentado. Assim, o autor recomenda que devam ser

aplicadas técnicas de manejo adequadas, de forma que haja uma interação positiva entre os animais e tratadores, visto que esta influencia consideravelmente as reações fisiológicas, o comportamento e bem-estar.

A taxa de concepção, detecção do estro e perda da prenhez são fatores importantes que determinam o desempenho reprodutivo de rebanhos leiteiros. Os criadores buscam aumentar cada vez mais a produção de leite por vaca/ano. Como isto depende da eficiência reprodutiva dos animais, cada vez mais tem-se preocupado com o aumento da fertilidade, detecção correta do cio e diminuição dos dias vazios. Muitos fatores relacionados ao ambiente em que vivem estes animais afetam a sua taxa de concepção, entre eles destaca-se o manejo (LUCY, 2001).

De acordo com MARCINKOWSKI (2004), o estro de uma vaca é influenciado por suas características individuais, o ambiente de exposição e a fatores ligados ao manejo adequado do animal, como conferência diária do cio, tempo, intensidade e responsabilidade nas observações e relatório de observação. Além disso, estas tarefas devem ser feitas por uma pessoa experiente. CAMARGO (2000) afirmou que na identificação do cio é indispensável a utilização de um funcionário devidamente treinado que conheça claramente os sinais característicos do estro para que ele seja corretamente identificado.

3.3.3. Desempenho reprodutivo do gado leiteiro em função do sistema de criação

Entre os sistemas de criação, o confinamento se destaca por ser a forma mais rápida de se reduzir trabalho, perda energética dos animais, ganhar espaço e aumentar o controle ambiental. Porém, ao se restringir num espaço reduzido um maior número de animais, acaba-se causando problemas sociais e frustrações, que afetam diretamente no comportamento e bem-estar animal. Um animal que não esteja em condições de bem-estar não irá desenvolver seu potencial produtivo em sua magnitude, mesmo que condições sanitárias e nutricionais estejam aparentemente satisfeitas (PERISSINOTTO, 2003). No que tange o alojamento do gado leiteiro criado em sistema de confinamento total, a mais importante função das instalações é interceptar a radiação solar e reduzir a carga térmica de radiação sobre os animais, auxiliando na manutenção da homeotermia e otimizando o consumo de alimentos (COELHO et al., 2001).

Segundo DOBSON e SMITH (2000), vários são os fatores passíveis de causar estresse bovino, entre eles os estressores sociais, relacionados com a ordem de dominância e hierarquia do grupo, o ambiente em que o animal está exposto e o próprio sistema de criação. Dessa forma, animais criados em confinamento estão mais sujeitos a sofrer estresse, ficando assim, vulneráveis a problemas reprodutivos.

A criação de gado leiteiro em ambientes inadequados pode também influenciar indiretamente em seu ciclo reprodutivo, através da redistribuição do fluxo sanguíneo no corpo, redução da ingestão de alimentos, aumento do consumo de água e alteração respiratória, entre outros (WOLFENSON et al., 2000).

VERBECK et al. (1995) mostraram que vacas acondicionadas em locais frescos tiveram maior porcentagem de prenhez do que o grupo controle que se encontrava em locais abertos 45 dias após a concepção. Contudo, a presença de proteínas específicas da prenhez encontrada em vacas vazias demonstrou que houve concepção em metade do grupo controle, indicando assim alta porcentagem de mortalidade embrionária. Mesmo animais criados em confinamento estão suscetíveis a este problema. Neste caso, devem ser considerados, na análise do comportamento reprodutivo, não apenas a raça e variáveis climáticas, mas também fatores como a idade, condições físicas e de saúde, tamanho e composição do grupo, forma de manejo e a presença constante de observadores (KING, 1993).

McMANUS et al. (2003) realizaram um experimento em que foram analisados dados de 1586 inseminações de vacas Holandesas preto e branco em sistema intensivo de produção leiteira no Distrito Federal. Com base neste experimento concluiu que o mês de inseminação ou parto é significativo para o intervalo entre os partos e número de inseminações, e que o clima influencia na reprodução, mesmo estando o animal em confinamento total.

Em experimento realizado por CHEBEL et al. (2004) para determinar quais os principais fatores associados à taxa de concepção e perda da prenhez de vacas holandesas criadas em sistema de confinamento, no estado da Califórnia – EUA, foram analisados dados de 7633 inseminações artificiais realizadas em 3161 vacas criadas em duas fazendas leiteiras. Durante a pesquisa, comparou-se temperatura de exposição e respostas fisiológicas com taxa de concepção. Com base neste experimento foi possível concluir que, para animais criados em confinamento, o estresse térmico por calor, aumento do número de inseminações,

multiparidade, doenças pós-parto e mastite, causaram redução na eficiência reprodutiva dos animais. Já a produção de leite não foi associada significativamente à taxa de concepção.

3.3.4. Desempenho reprodutivo do gado leiteiro em função de suas características individuais

A idade à qual um bovino atinge sua maturidade sexual vai depender da raça e da alimentação. O peso ideal para que um animal seja incluído no programa reprodutivo, no caso de novilhas Nelore está em torno dos 270-280 kg, atingindo este peso em criações extensivas por volta dos 25-30 meses. No entanto, em condições de pastagens melhoradas, pode ser reduzida para 20-24 meses. Já para as novilhas com sangue europeu, o peso ideal está por volta dos 300-320 kg, dependendo da alimentação fornecida, a partir dos 12-18 meses (VANZIN, 2006). Assim sendo, cada raça tem seu peso ideal à primeira concepção e este peso deve ser respeitado, se o criador desejar que este animal atinja seu total desenvolvimento.

Mesmo que estas novilhas entrem em cio antes desta condição, elas não devem ser cobertas, pois corre o risco de não conseguir manter as exigências nutritivas ao seu bom desenvolvimento.

Segundo VANZIN (2006), a estação reprodutiva de inverno não é a mais indicada, sendo aconselhada somente para novilhas que não atingiram desenvolvimento para a estação reprodutiva de primavera-verão. O autor ainda cita que, embora o produtor ganhe alguns meses no ciclo reprodutivo do animal, acaba criando datas diferentes de manejo, aumentando o uso da mão-de-obra e despadronizando os lotes, entre outros. Como consequência, seu rebanho fica com características heterogêneas, com animais estressados e dificuldade no controle dos períodos de prenhez.

Outro fator relevante que pode causar alterações na capacidade reprodutiva do gado leiteiro é a cor do pelame. Em experimento realizado por HANSEN (1997), foi estudada a relação existente entre duração e intensidade da carga térmica, cor do pelame e eficiência reprodutiva do gado leiteiro. Com base nos resultados obtidos, o autor concluiu que animais com maior área de pelame da cor preta, quando expostos a ambientes quentes, tem uma menor capacidade reprodutiva e de produção de leite do que aqueles em que predomina o pelame branco.

3.4. A identificação do estro

Além do desempenho reprodutivo do gado leiteiro ser alterado por fatores como ambiente térmico, manejo inadequado e sistemas de criação, muitos insucessos em programas de inseminação estão relacionados à falhas na observação do cio. Inseminar as matrizes bovinas na época certa, além de representar um maior período produzindo leite, também significa melhores chances de fecundação e faz com que os bezerros nasçam próximos uns aos outros, o que é de extrema importância, pois assim os lotes saem mais uniformes e a taxa de prenhez do rebanho não é alterada. Isto facilita o manejo, racionaliza mão-de-obra com inseminação, nascimentos, vacinações, entre outros trabalhos, além de melhorar as condições de comercialização dos bezerros desmamados, o que representa grande economia para o produtor.

Assim, é grande a preocupação em se criar formas, cada vez mais precisas, de identificação de estro. A sincronização é um artifício bastante utilizado por propiciar que os cios dos animais de um rebanho ocorram todos próximos uns aos outros, facilitando sua identificação. A maneira mais antiga e também ainda a mais utilizada para constatação do estro é a observação visual, normalmente feita por um técnico mais experiente, que percebe um cio bovino através de seu ciclo estral e indícios específicos. Porém, é cada vez maior a utilização de tecnologias que auxiliam na observação de indícios difíceis de serem verificados, como é o caso do pedômetro, análise de imagens e programas computacionais.

3.4.1. A sincronização do cio

A natural dificuldade existente, para se obter elevadas taxas de detecção de cio, faz com que seja necessário um monitoramento contínuo e controlado das vacas, como a maneira mais direta de se conseguir inseminações artificiais com sucesso (DAY et al., 2000). A sincronização do cio vem de encontro a essa necessidade, pois é através dela que um produtor consegue concentrar o início do estro da maioria de seus animais em um mesmo período, o que reflete diretamente na racionalização da mão-de-obra e custos de produção. A sincronização pode ser feita de algumas maneiras distintas, porém a mais adotada é a que

utiliza hormônios de indução de cio nos animais, como é o caso da progesterona ou prostaglandina.

A utilização de hormônios, como forma de sincronização química, até hoje é motivo de pesquisas, visto que não existe um consenso da comunidade científica, pois enquanto algumas pesquisas indicam somente os benefícios destas substâncias, várias outras apontam indícios de seus reflexos negativos no desempenho animal, seja por causar alterações e desconfortos fisiológicos ou até mesmo influenciar na qualidade do leite.

RYAN et al. (1999) realizaram uma pesquisa para avaliar programas de sincronização de cio. No experimento foram analisadas as taxas de detecção, prenhez e sincronização, além do seu posterior efeito no ovário do animal. No final, concluiu que a utilização de substâncias indutivas de estro melhorou muito as taxas de detecção, prenhez e sincronização durante o tratamento e que após suspender a administração dos hormônios, o estro dos animais voltaram ao normal. Segundo CAVALIERI et al. (2004) a performance reprodutiva de vacas que fazem uso da sincronização, depende da quantidade de hormônios utilizada, entre outros. Este autor realizou uma pesquisa para verificar a influência da sincronização e re-sincronização no desempenho de vacas leiteiras em lactação. Os resultados do estudo sugerem que os efeitos principais destes tratamentos foram o controle da alteração do sincronismo dos animais analisados, porém sem afetar a fertilidade.

Já na pesquisa realizada por AHMADI et al. (2007), os autores concluíram com base nos resultados encontrados, que são necessários mais estudos sobre influências hormonais na sincronização de cio. Esta pesquisa teve como objetivo mostrar as mudanças citológicas do muco cervical em vacas holandesas, após a introdução de hormônios intravaginais, utilizados para indução do cio. Neste experimento foram utilizadas 60 vacas holandesas saudáveis. No final do experimento, além da conclusão anteriormente citada, concluíram também que houve influência hormonal no intervalo reprodutivo, porém, não foram identificados efeitos hormonais no muco cervical, o que provavelmente ocorreu devido a este ter sido mascarado pelos efeitos mecânicos, visíveis ao observador.

No que diz respeito à influência hormonal na qualidade do leite, embora a maioria das pesquisas indique que não há, ainda assim, não existe unanimidade entre os cientistas.

Segundo KARAGIANNIDIS (1995) foram encontrados indícios de que determinados hormônios, utilizados para sincronização de cio, possam deixar resíduos nos produtos de

origem animal, como é o caso do leite. Já WALDMANN et al. (2006) estudaram os níveis de concentração de progesterona no leite, seu rendimento e composição, além da estrutura ovariana e prenhez de vacas tratadas com hormônio de sincronização PGF 2 α (prostaglandina 2 α). No final do experimento, foi possível verificar que as vacas tratadas com hormônios tiveram um menor rendimento do leite, porém com uma porcentagem maior de proteína. Não foram encontrados hormônios residuais no leite. No que se refere à taxa de prenhez das vacas tratadas com hormônio para sincronização, estas tiveram uma menor porcentagem de inseminações positivas, o que pode ser função de alterações ovarianas causadas pelo tratamento. Esta influência dos hormônios de sincronização nas funções fisiológicas e reprodutivas das vacas, também foi relatada por outros pesquisadores.

SHAHAM-ALBALANCY et al. (1997) e CHENAULT et al. (2003) investigaram o efeito da administração do hormônio CIDR (dispositivo intravaginal de liberação controlada de droga) durante o ciclo estral de vacas na fase reprodutiva. Ao término do experimento, relataram que tais dispositivos de indução do cio causam irritação intravaginal na maioria dos casos e conseqüente desconforto aos animais. Além disso, os hormônios utilizados para a sincronização de cio demonstraram estar diretamente ligados a uma crescente diminuição, a longo prazo, da taxa de fertilidade dos animais submetidos a estes tratamentos (VIÑALES et al., 2001, MOREIRA et al. 2001, DISKIN et al., 2002, CAVALIERI et al., 2003).

Outros fatores também têm potencializado as dificuldades encontradas pelos sistemas de sincronização, diminuindo sua eficiência. Segundo LEAN et al. (2003), diversos estudos tem mostrado que mesmo havendo uma sincronização das funções ovulatórias, as taxas de inseminação com sucesso tem variado muito, em função da exposição ambiental. Além disso, em alguns casos, o rendimento do leite tem aumentado, mas a fertilidade da vaca tem diminuído, causando uma variação entre animais com estros sincronizados e não sincronizados (PRYCE et al., 2004; KURYKIN et al., 2003).

De acordo com GALINA et al. (1996), é comum encontrar problemas de precisão nos sistemas de sincronização de estros, o que pode ser atribuído à composição e tamanho dos rebanhos e hierarquia social. Adicionalmente, segundo HORN et al. (2001), fatores comportamentais também interagem diretamente na frequência de estros detectados; ou seja, uma vaca em cio interage com outras fora de cio, o que pode favorecer uma maior manifestação de cios vazios no rebanho. FONSECA et al. (2005) afirmaram que estudos

envolvendo sincronização de cio, o período de duração do estro deve ser considerado, independente do tipo de inseminação.

3.4.2. Observação visual para identificação do estro

Segundo LEITE (2001), o período do cio em vacas não prenhas é cíclico, podendo ocorrer a cada 18 a 23 dias. Porém o mais comum é que aconteça sempre no 21º dia. Já sua duração varia de 10 a 30 horas, dependendo da raça, presença de doenças, ambiente de exposição e tipo de manejo, entre outros fatores.

De acordo com CARDOSO (2002), para que o ato da inseminação seja feito com sucesso, este deve ser realizado no final do cio ou início do pós-cio. Assim, é imprescindível que o observador conheça o momento exato do final do cio (Figura 3). O autor afirmou ainda, que o gado leiteiro apresenta indícios específicos que identificam a ocorrência do cio, tais como:

- Redução do apetite;
- Redução da produção de leite;
- Liberação de muco;
- Excesso de urina;
- Vulva inchada e brilhante;
- Ato de farejar e lambar animais e pessoas próximas;
- Repetidas tentativas de saltar sobre membros do rebanho;
- Agrupamento em torno do rufião ou touro;
- Mugido constante; e
- Aceita a monta, como principal característica.

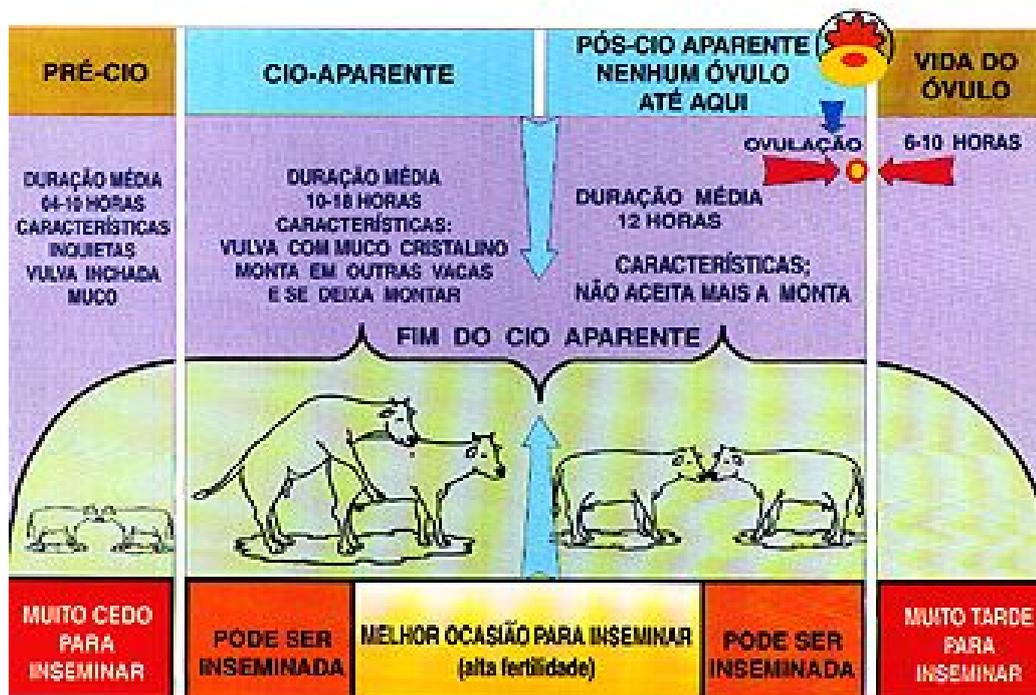


Figura 3. Ciclo estral do gado leiteiro.

Fonte: VANZIN (2006)

3.4.3. Tecnologias utilizadas no auxílio da identificação do estro

Segundo HANSEN (2003) é quase impossível, mesmo para um tratador experiente, detectar a presença de cio em mais de 80% das vacas de um rebanho, mesmo que sejam feitas observações das fêmeas três vezes ao dia, por um período superior a 30 minutos. Assim, a utilização de tecnologias que auxiliem na observação e verificação de indícios de estro passam a ser uma ferramenta interessante, principalmente do ponto de vista quantitativo. De acordo com LEHRER et al. (1992) e SENGER (1994), diversos dispositivos automatizados têm sido utilizados para a detecção de cio em vacas, de forma a tornar esta tarefa mais precisa. Entre eles destacam-se os pedômetros, detectores de calor corporal, dispositivos que medem a temperatura vaginal e do leite e dispositivos que medem a impedância no muco. Ainda segundo estes autores, alguns destes dispositivos podem até aumentar a eficiência da detecção de estro quando combinados à observação visual, porém isto não acontece se utilizados individualmente.

FIRK et al. (2003) relataram que um aumento na movimentação, além do normal, demonstra que o animal pode estar entrando no cio. FIRK et al. (2002) realizaram um experimento onde compararam os níveis de movimentação de vacas antes e durante o cio. Ao final desta pesquisa, observaram que no início do estro houve um aumento de 93% na movimentação das vacas, na ordem de 4 vezes acima do normal, registrado fora deste período. Já MELE (2001), após realização de pesquisa sobre movimentação bovina, concluiu que esta é bastante influenciada pela ocorrência de estro, e que dificilmente um aumento na movimentação ocorre na sua ausência. Ainda segundo este autor, um modelo que tem sido bastante utilizado por empresas comerciais para monitorar a produção de leite, saúde e detecção de estro em vacas leiteiras é o modelo da movimentação média. Nele, cada dado novo obtido pelo sistema é comparado com um valor de previsão baseado na média obtida nos últimos dias. A diferença entre o valor medido e o valor previsto é frequentemente tida como porcentagem de desvio e o sistema dá um sinal de alerta quando este desvio ultrapassa um valor limite pré-estabelecido.

Isto pode ser facilmente entendido ao se analisar a pesquisa realizada por MAATJE et al. (1996), que gerou gráficos para melhor visualização da movimentação bovina (Figura 4). O início de cio foi definido quando a leitura do pedômetro indicava uma movimentação duas vezes maior do que a média encontrada anteriormente, aproximadamente quatro horas antes. Assim, o período ideal para inseminar (TI) pode ser facilmente determinado.

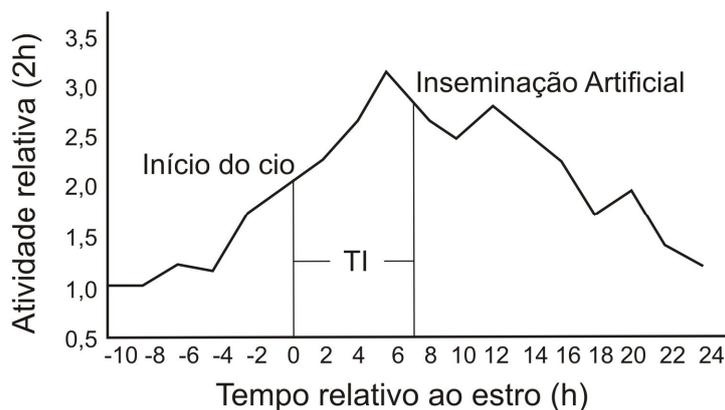


Figura 4. Atividade relativa e identificação do melhor período para inseminar (TI).

Fonte: MAATJE et al. (1996)

Os pedômetros são aparelhos eletrônicos alocados em uma das patas das vacas e servem para medir e gravar sua movimentação (Figura 5). Quando esta é ordenhada, um dispositivo de leitura dos pedômetros armazena a movimentação nas últimas horas. Quando a vaca apresenta uma movimentação fora do padrão, esta é captada por este aparelho. Sua movimentação se altera e vai aumentando até alcançar seu maior valor, o que ocorre no estado de estro. Depois, este valor vai diminuindo até que a vaca volte a ter movimentação normal.



Figura 5. Pedômetro utilizado para monitoramento da movimentação bovina.

KIDDY (1977) foi um dos primeiros pesquisadores a estudar, através de pedômetros, a relação entre níveis de atividades físicas e estro bovino. Este pesquisador concluiu que em consequência deste aumento na movimentação do animal, existe também uma elevação em sua temperatura corporal e do leite. Porém, embora seja fato o acréscimo de temperatura em vacas que estão entrando no estro, este indício não deve ser o único considerado, visto que existem outros fatores que podem ocasionar alteração de temperatura, como os estressores relacionados às variações térmicas ambientais. Posto isto, novas tecnologias tem surgido pra complementar as avaliações feitas com pedômetros, tornando os resultados mais confiáveis.

Segundo REDDEN et al. (1993), a utilização de radio telemetria associada aos pedômetros é uma solução interessante, pois possibilita aliar níveis de atividades com observações através de imagens. Na pesquisa realizada por este autor, além de usar o pedômetro para a detecção de cio, também foram utilizados sensores para um monitoramento contínuo da temperatura vaginal e da pele atrás da orelha. Estas observações se deram com o uso de radio telemetria. Ao final do experimento, concluiu que a utilização dos pedômetros

nas patas traseiras dos animais demonstrou maior eficiência e o uso da radio telemetria foi interessante por proporcionar um monitoramento contínuo dos animais, porém, apresentou dificuldades técnicas na medição, sugerindo maiores ajustes.

REDEEN et al. (2003) afirmou que vários são os métodos utilizados para facilitar a detecção do estro em vacas leiteiras. Em estudo realizado por estes autores, foram monitoradas temperatura corporal e movimentação como forma de verificação da presença de cio. Avaliaram os níveis de atividades de 13 vacas em lactação, duas vezes por dia, usando-se pedômetros. Já as alterações de temperaturas foram medidas continuamente através de radiotelemetria, através da introdução de sensores na vagina e orelhas (subcutâneo). Com base nesta pesquisa foi possível concluir que há um notório aumento na movimentação dos animais durante o período de cio, o que ocorre também com sua temperatura. Assim, utilizando-se a variação da temperatura corporal e taxa de movimentação foi possível indicar quando uma vaca está entrando no período de cio.

As técnicas eletrônicas disponíveis para a coleta de informações, se baseiam principalmente em mudanças da atividade física (verificada pelo pedômetro) e mudanças na resistência elétrica nas secreções do trato reprodutivo (sensores internos) (RORIE et al., 2002). Segundo AGRITECH (2007) o detector eletrônico de cio é um aparelho que capta as mudanças na resistência da mucosa vaginal, o que permite detectar o momento mais propício e com melhores chances para inseminar ou permitir a monta. A utilização consiste na introdução de uma sonda no aparelho reprodutivo da fêmea e leitura imediata dos resultados, através de uma tela de cristal líquida digital (Figura 6). O valor registrado pode ser interpretado com o auxílio do manual.



Figura 6. Detector eletrônico de cio

Fonte: AGRITECH (2007)

De acordo com FIRK et al. (2002), visto que são vários os indícios de estro, a coleta de dados sobre a produção, condutividade do leite, atividades de movimentação e de monta, que são características representativas do cio, podem ser realizadas durante o tempo de ordenha, facilitando assim este processo. Estes fatores são mais bem monitorados e analisados por *softwares* específicos, que acabam auxiliando no aumento de cios identificados e diminuição de alerta falso positivo de estro.

De acordo com FORTES (2004), a utilização de *softwares* gerenciais na produção bovina é cada vez mais essencial, pois são várias as tarefas registradas e controladas por estes programas. Informações reprodutivas como primeira parição, intervalos entre partos e duração do cio podem ser armazenadas e avaliadas com mais exatidão através destes programas computacionais. Dessa forma, a utilização de equipamentos, sensores e análise de imagens fazem do computador uma ferramenta de extrema importância no processo produtivo.

3.4.4. Eficiência reprodutiva de vacas leiteiras

Diante da necessidade dos produtores de leite em operar com máxima eficiência para manter a rentabilidade da atividade, é cada vez maior a busca de estratégias para melhorar o desempenho reprodutivo das vacas, por ser este responsável direto pela produção de leite, aumento do ganho genético e redução de custos, entre outros fatores.

Desta forma, além de se identificar corretamente o estro bovino, também são de suma importância as etapas de inseminação e concepção. Segundo VANZIN (2006), a taxa de concepção em rebanhos comerciais de gado de leite é, em média, de 35 a 40% em vacas multíparas, 50% em vacas de primeira lactação e, geralmente maior que 65%, em novilhas.

Existem várias formas de avaliar a eficiência reprodutiva de um rebanho, sendo uma delas a que utiliza índices zootécnicos, como intervalo entre partos, período de serviço e número de serviços por concepção. Outra maneira de se analisar a eficiência reprodutiva é determinando-se as taxas de concepção e de prenhez, que considera também a eficiência da detecção do cio.

Segundo ARTUNDUAGA e VILELA (2007) a taxa de detecção de cio (TDC) pode ser calculada pela expressão:

$$TDC = \frac{\text{número de vacas det ectadas}}{\text{número de vacas aptas para inse min ação em 21 dias}} \quad \text{Eq. 9}$$

A taxa de concepção (TC) pode ser calculada com a expressão:

$$TDC = \frac{\text{número de vacas ges tan tes}}{\text{número de vacas inse min adas}} \quad \text{Eq. 10}$$

E a taxa de prenhez (TP), que representa a velocidade que a vaca se torna gestante, a partir do momento que é liberada para inseminação, pode ser obtida pela expressão:

$$TP = TDC \times TC \quad \text{Eq. 11}$$

De acordo com ARTUNDUAGA e VILELA (2007) uma taxa de prenhez (TP) de 35% para um rebanho confinado parece pequena, mas conseguir alcançá-la é reflexo de um excelente desempenho reprodutivo.

3.5. Sistemas de suporte a decisão

Na produção leiteira, muitas atividades que envolvam os animais são desenvolvidas de forma rotineira, como a ordenha, a alimentação e a pesagem. O desempenho ótimo de um indivíduo pode ser obtido usando-se estas informações. Entretanto isto não é tão simples, já que cada decisão envolve a análise de múltiplas variáveis ao mesmo tempo. Formas de cruzamento de informações são constantemente criadas com a finalidade de obter um melhor gerenciamento das informações. Atualmente, vários sistemas automatizados de suporte à decisão vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de otimizar a produção, sendo que grande parte deles utilizam como base a lógica *fuzzy* (ERADUS et al., 1998; AMENDOLA et al., 2005; MALTZ et al., 2005; SANTOS et al., 2006).

3.5.1. Aplicações da Lógica *Fuzzy*

Muitos sistemas de suporte à tomada de decisão têm surgido com a intenção de auxiliar os criadores de gado leiteiro no processo produtivo. Porém, a maioria destes programas utiliza quase sempre base de dados incompletos ou até mesmo informações desconhecidas, gerando respostas nem sempre confiáveis. Um avanço no desenvolvimento destes sistemas de suporte à tomada de decisão é a inclusão de um especialista que tem a tarefa de desenvolver escalas de confiabilidade dos dados utilizados no programa, indicando assim, o grau de segurança das respostas. Nos sistemas especialistas, o formulário preenchido pelo usuário é de extrema importância, pois é através dele que se vai deduzir qual o grau de segurança das informações geradas.

O sistema de controle *fuzzy* foi proposto inicialmente por Sedrak Assilian e Ebrahim Mamdani, em Londres, no Reino Unido (ASSILIAN e MAMDANI, 1974). Atualmente, a lógica *fuzzy* é a forma de modelagem matemática que tem sido mais utilizada no desenvolvimento destes sistemas especialistas, principalmente por ser de fácil manuseio e proporcionar resultados de fácil interpretação (PURUCKER et al., 2001). Assim, muitos autores vêm utilizando este recurso matemático para estimativa de situações específicas em criatórios de animais (PANDORFI et al., 2007; SANTOS et al. 2006; OLIVEIRA et al., 2005; AMENDOLA et al., 2004; MOURA et al., 2004).

Vários sistemas de suporte à tomada de decisão baseados na lógica *fuzzy* já foram desenvolvidos e vêm sendo empregados na produção leiteira. Programas de análise qualitativa do leite, dosagem adequada de ração e identificação de mastite, entre outros, vem sendo utilizados com sucesso.

FIRK et al. (2003) realizaram experimento para verificar a importância de empregar informações sobre atividades desenvolvidas por vacas leiteiras durante estro já ocorridos em simulações realizadas com a lógica *fuzzy*. Durante as simulações utilizou informações de 862 vacas, sendo que 373 possuíam histórico de comportamento durante estros anteriores. Considerou o domínio da variável lingüística de saída $[0;1]$, sendo α um valor qualquer neste intervalo. Se $\alpha = 0$ não houve nenhum acerto de estro com base em informações de atividades já existentes e se $\alpha = 1$, houve acerto total nas previsões. Primeiramente fez simulações apenas utilizando dados das vacas com informações prévias. Neste caso, após a “*defuzzificação*”, ao

considerar um $\alpha = 0,917$, a imprecisão nas previsões foi de 34,6%. Já, reduzindo α para 0,879, a imprecisão foi de 12,5%. Porém, ao repetir esta última análise, mas com os dados das 862 vacas, a imprecisão aumentou para 23,8%. Assim, foi possível concluir que informações sobre estros passados são bastante importantes na montagem de modelos multivariáveis de caracterização de estro dentro da lógica *fuzzy*.

MORAG et al. (2001) desenvolveram um sistema de suporte à decisão utilizando a lógica *fuzzy*, onde foi estabelecida qual a concentração ideal de alimentos em cochos individuais para gado leiteiro de acordo com seu desempenho produtivo. O modelo foi construído com base em informações de 15 vacas leiteiras pertencentes a um grupo de 50 animais em lactação. Foram analisados semanalmente dados de peso corporal, produção do leite, período de lactação e consumo de alimento. Com base neste experimento, concluíram que existe relação entre os dados históricos de concentração de ração e o desempenho produtivo das vacas. Assim, neste caso, a lógica *fuzzy* pôde ser usada como uma metodologia que auxiliou na melhoria da concentração da ração servida a cada animal, possibilitando a automatização da distribuição do alimento, otimizando a produção.

Os sensores que medem a produção, temperatura, condutividade elétrica do leite e níveis de atividade animal, podem ser usados para o monitoramento automatizado do desempenho da vaca. Sistemas de detecção automatizados de mastite e estro foram desenvolvidos a partir destes sensores, mas apresentam como maior problema a ocorrência de alertas falso-positivo, gerando trabalho e gastos adicionais.

O termo falso-positivo refere-se a uma situação em que o animal ou equipamento apontam para uma resposta que, interpretada pelo observador, induz a acreditar que determinado fato está realmente ocorrendo, o que não é real, pois apenas os indícios estão acontecendo, porém o fato em si não. De maneira análoga, o falso-negativo transmite a idéia de que determinado fato não está ocorrendo, o que não é verdade. Este tipo de situação pode acontecer, por exemplo, nos casos em que se utiliza apenas a observação visual para a tomada de decisões ou também equipamentos que são calibrados somente com informações fisiológicas do animal. Dessa forma, os principais impactos das respostas falso-positivas ou falso-negativas são a preparação de toda uma estrutura para se lidar com determinado fato e este não acontecer ou acontecer despercebido e os reflexos financeiros dos prejuízos gerados. Nos dias atuais, uma das soluções mais adotadas para se reduzir este problema é a utilização

de sistemas especialistas, que em grande parte utiliza a lógica *fuzzy*. Neste caso, estes alertas falsos são reduzidos, pois estes sistemas, além de utilizarem históricos já existentes e conhecimentos da fisiologia dos animais, tem como principal característica, a presença do especialista da área em questão, ajudando na construção do modelo e, desta forma, possibilitando respostas ponderadas, com maiores graus de segurança.

MOL e WOLDT (2001) usaram a lógica *fuzzy* para classificar alertas de mastite e estro, com a intenção de reduzir o número de alertas de falso-positivo. Os dados de entrada no modelo foram sintomas de detecção e histórico reprodutivo. Como informações de saída, a classificação *verdadero* ou *falso* para cada alerta. Após os ajustes, relacionando os resultados deste modelo com os do automatizado, verificou-se que o número de casos de falso-positivo de um lote de 25 animais reduziu de 1266 para 64, aplicando-se a lógica *fuzzy*. Com este experimento foi possível concluir que a utilização da lógica *fuzzy* provou ser muito útil no monitoramento automatizado do desempenho de gado leiteiro.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento contemplou três fases de execução:

- Composição de um banco de dados ordenados, de maneira a obter o maior número possível de informações de campo, provenientes da literatura e consulta a especialista¹, sobre as condições ambientais de exposição e indícios de estro do bovino leiteiro utilizado na pesquisa;
- Construção de um modelo de simulação, usando dados ambientais, intervalo entre estros e o índice de temperatura e umidade (ITU), utilizando lógica *fuzzy*, onde a variável de saída foi a taxa de detecção de cio.
- Teste do modelo utilizando-se banco de dados e históricos de cios existentes.

4.1. Composição do banco de dados

Para a composição do banco de dados utilizado neste trabalho, foi necessária uma ampla pesquisa bibliográfica, onde se buscou o maior número de informações qualitativas e quantitativas sobre os principais fatores de interesse relacionados ao comportamento reprodutivo do gado leiteiro. Feito isto, estas informações foram ordenadas de maneira a serem interpretadas e utilizadas no decorrer da pesquisa.

¹ Dra. Maria de Fátima Ávila Pires, pesquisadora pela Embrapa Gado de Leite.

4.1.1. Constituição do banco de dados

As informações que formaram o banco de dados e serviram para o embasamento científico desta pesquisa foram retiradas de diversas Teses, Dissertações e publicações científicas, citadas no decorrer deste trabalho. Todas vieram de meios de divulgação confiáveis e possuíam níveis de detalhamento suficientes para sua perfeita utilização.

De acordo com SILVA (2000) existem vários índices de conforto, que englobam a temperatura ambiental e umidade relativa do ar, destacando-se entre eles o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e o índice de temperatura e umidade (ITU). Segundo BUFFINGTON et al. (1981) sob condições em que os níveis de radiação solar ou velocidade do vento são moderados, o ITU e ITGU são igualmente eficientes na avaliação do conforto térmico, produção de leite e eficiência reprodutiva. Como a situação do campo experimental utilizado nesta pesquisa era bem parecida com a descrita por estes autores, optou-se por utilizar o ITU na construção do modelo. Esta opção também seguiu as recomendações de MATARAZZO (2004), BACCARI JUNIOR (1998), BERMAN et al. (1985), YOUSEF e JOHNSON (1985), NÄÄS (1998).

Segundo LEITE (2001), o período do cio em vacas não prenhas é cíclico, podendo ocorrer a cada 18 a 23 dias. Porém o mais comum é que aconteça sempre no 21º dia. E de acordo com CARDOSO (2002), o gado leiteiro pode apresentar até 10 indícios específicos que identificam a ocorrência do cio. Desta forma, estas informações serviram de base para o desenvolvimento do modelo e avaliação da situação de campo.

4.1.2. Organização das informações

Com o objetivo de estimar a possibilidade de uma vaca entrar ou não no cio, este trabalho analisou como as variáveis de entrada do modelo influenciaram a variável de saída, aqui denominada taxa de detecção de cio (TDC), utilizando para isto a teoria dos conjunto *fuzzy*. As variáveis de entrada consideradas foram o índice de temperatura e umidade (ITU), número de comportamentos de estro observados (NCO) e período após o último cio (PAUC).

Para se fixar os intervalos da variável período após o último cio (PAUC), adotou-se as informações obtidas de LEITE (2001), CARDOSO (2002) e VANZIN (2006). Já os comportamentos de estro (NCO) foram citados por CARDOSO (2002). Os valores do índice de temperatura e umidade (ITU) utilizados seguiram as recomendações de ROSENBERG et al. (1983); HAHN (1985), DU PREEZ et al. (1990), NÄÄS (1998) e MATARAZZO (2004).

A classificação da taxa de detecção de cio foi realizada pela especialista Dra. Maria de Fátima Ávila Pires, levando-se em conta a análise individual de cada situação e sua experiência na área. Neste sentido, foram seguidas as observações levantadas por MOBERG (1987) e RODTIAN et al. (1996) direcionando a análise para vacas holandesas criadas em confinamento total, manejo adequado de forma a reduzir bastante os níveis de estresse, plena maturidade reprodutiva e que fazem parte de um rebanho homogêneo. Organizou-se as variáveis de entrada conforme pode ser observado na Tabela 2, de maneira que a especialista pudesse classificar a possibilidade de ocorrência da variável de saída TDC em muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, de acordo com a combinação das informações de entrada.

Tabela 2. Taxa de detecção de estro de vacas leiteiras em função do índice de temperatura e umidade (ITU), período após último cio (PAUC) e número de comportamentos observados (NCO)

		ITU ¹			
PAUC ²	NCO ³	IDEAL (35 - 75)	ALERTA (74 - 79)	PERIGO (78 - 83)	EMERGÊNCIA (82 - 110)
CURTO (13 - 19)	<i>POUCO (1 - 4)</i>				
	<i>NORMAL (3 - 6)</i>				
	<i>IDEAL (5 - 10)</i>				
NORMAL (18 - 23)	<i>POUCO (1 - 4)</i>				
	<i>NORMAL (3 - 6)</i>				
	<i>IDEAL (5 - 10)</i>				
LONGO (22 - 28)	<i>POUCO (1 - 4)</i>				
	<i>NORMAL (3 - 6)</i>				
	<i>IDEAL (5 - 10)</i>				

1 - ITU (índice de temperatura e umidade) – para fins experimentais fixou-se um intervalo de 35 a 110 (adimensional).

2 - PAUC (período após o último cio) – para fins experimentais fixou-se um intervalo de 13 a 28 dias.

3 - NCO (número de comportamentos observados) – para fins experimentais fixou-se um intervalo de 1 a 10 indícios de estro.

4.2. Desenvolvimento do modelo

A segunda etapa desta pesquisa foi a construção de um modelo de simulação que teve como variável de saída a taxa de detecção de cio (TDC).

Muitos sistemas de suporte à tomada de decisão têm surgido com a intenção de auxiliar os criadores de gado leiteiro no processo produtivo. Um avanço no desenvolvimento destes sistemas é a inclusão de um especialista que tem a tarefa de desenvolver escalas de confiabilidade aos dados utilizados, indicando assim, o grau de segurança das respostas.

Atualmente, a lógica *fuzzy* é a forma de modelagem matemática mais adotada para o desenvolvimento destes sistemas especialistas, principalmente por ser de fácil manuseio e proporcionar resultados de fácil interpretação (ERADUS et al., 1998; PURUCKER et al., 2001; AMENDOLA et al. (2005); MALTZ et al. (2005) e SANTOS et al. (2006).

Assim, muitos autores vêm utilizando com sucesso este recurso para estimativa de situações específicas em criatórios de animais que envolvam múltiplas variáveis ao mesmo tempo (PANDORFI et al., 2007; SANTOS et al. 2006; OLIVEIRA et al., 2005; AMENDOLA et al., 2004; MOURA et al., 2004).

Por estas razões, nesta pesquisa optou-se em utilizar a lógica *fuzzy*, e assim poder atribuir escalas de confiabilidade aos dados empregados no modelo.

A função de pertinência de um conjunto *fuzzy* A , é caracterizado por relacionar os elementos de um domínio, espaço, ou universo de discurso X , ao intervalo unitário $[0,1]$ (ZADEH, 1973). Matematicamente, essa relação é descrita como: $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$, onde o valor $\mu_A(x) \in [0,1]$ mostra o grau com que o elemento x de X está no conjunto *fuzzy* A , com $\mu_A(x) = 0$ e $\mu_A(x) = 1$ indicando, respectivamente, a não-pertinência e a pertinência completa de x ao conjunto *fuzzy* A .

Segundo OLIVEIRA et al. (2005), a estrutura básica de um sistema baseado em regras *fuzzy* inclui quatro componentes principais:

1) um “*fuzzificador*”, que traduz a informação de entrada em conjuntos *fuzzy*. A cada variável de entrada são atribuídos termos lingüísticos que são os estados da variável, e cada termo lingüístico 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*, e

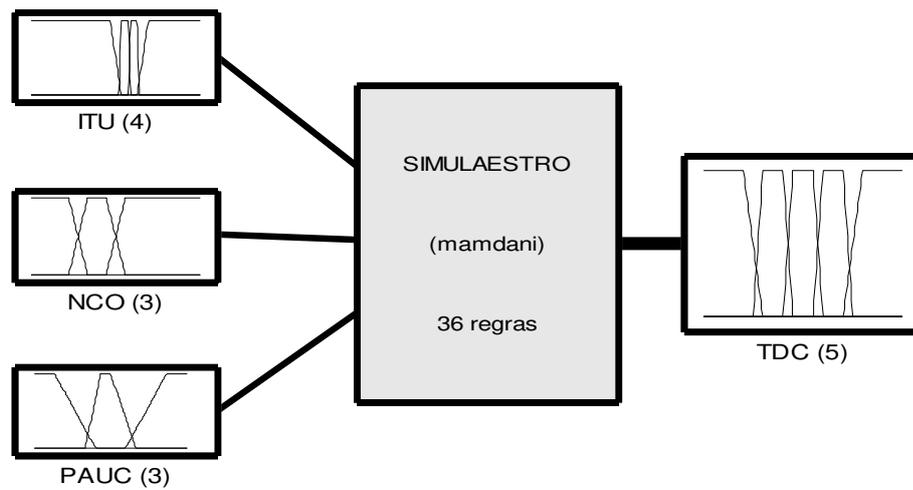
4) um “*defuzzificador*”, que traduz a saída por um valor numérico.

As etapas de “*fuzzificação*”, feita a partir das proposições *fuzzy* da análise dos dados; etapa de confecção da base de regras e etapa de “*defuzzificação*” estavam de acordo com a metodologia utilizada por FIRK et al. (2002).

O uso da ferramenta matemática MATLAB R2006a[®], com sua caixa de ferramentas adicional de lógica *fuzzy* proveu um conjunto de possibilidades de edição que permitiu construir um sistema de inferência *fuzzy*, chamado de FIS (Fuzzy Inference System), como feito por MOLLO NETO (2007), em que foi possível simular várias situações envolvendo indícios fisiológicos, físicos e de ambiência, possibilitando o seu teste ao compará-lo com situações de campo.

Assim, para a construção do modelo matemático de interesse, foi utilizado o programa MATLAB R2006a[®], o qual permitiu trabalhar com a teoria dos conjuntos *fuzzy*. Para o cenário criado, as variáveis lingüísticas de entrada foram o índice de temperatura e umidade (ITU), o período após o último cio (PAUC) e o número de comportamentos observados (NCO).

O método de inferência utilizado para relacionar as variáveis de entrada com a de saída foi o Mandani, que combinou os graus de pertinência referentes a cada um dos valores de entrada, por meio do operador mínimo, e agregou as regras por meio do operador máximo, proporcionando a verificação das condições ambientais mais prováveis para que uma vaca entre no cio. A “*defuzzificação*” foi realizada pelo método do centro de gravidade, conforme sugerem AMENDOLA e SOUZA (2004). A Figura 7 ilustra esta estrutura.



Sistema de controle SIMULAESTRO

Figura 7. Configuração básica do *fuzzy logic toolbox*.

Fonte: MATLAB R2006a[®].

4.3. Teste do modelo proposto

Depois de concluída a segunda etapa, o experimento passou para a última fase de teste. Para isto foi necessário coletar informações de campo, referentes às características dos animais, sua forma de manejo, tipologia do alojamento, manejo reprodutivo das vacas e descrição do ambiente climático de exposição.

4.3.1. Descrição dos animais e manejo

Nesta pesquisa as informações de campo utilizadas para testar o modelo matemático proposto foram coletadas na fazenda Campestre, situada no município de São Pedro - SP. O período experimental ocorreu nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2007. Preferiu-se informações referentes aos meses de calor, com características térmicas semelhantes, seguindo orientação de CHEBEL et al. (2004) após concluir que, para animais criados em confinamento, o estresse térmico por calor, causa um aumento do número de inseminações sem sucesso.

De acordo com MOLLO NETO (2007), a fazenda Campestre possui latitude de 22° 32' 55" Sul, longitude de 47° 54' 50" Oeste e altitude de 580m acima do nível do mar. O Clima segundo classificação de Köppen, é Cwa, quente e úmido com estação chuvosa no verão e seco no inverno.

Ao todo foram selecionadas, de forma aleatória, 20 vacas para o teste do modelo, as quais faziam parte de um grupo de 178 animais, divididos em dois lotes, sendo o primeiro utilizado na pesquisa, com 97 animais e o segundo com 81 vacas. O lote experimental possuía características homogêneas, em que as vacas eram pluríparas em lactação, da raça Holandesa (puras por cruza). A ordenha acontecia três vezes ao dia (01h:00min, 09h:00min e 17h:00min) com suas produções registradas diariamente. O sistema utilizado neste processo era do tipo carrossel automatizado, onde foi possível realizar a ordenha simultânea de até 18 vacas.

O arraçoamento acontecia diariamente sempre as 02h:00min, 07h:00min e 15h:00min, em que cada vaca recebia aproximadamente 43kg de uma mistura de caroço, pré-secado, polpa, concentrado, grão úmido e silagem de milho, a qual era disposta em comedouros localizados em frente aos canzís. O detalhamento da alimentação fornecida aos animais encontra-se no Anexo 2 deste trabalho. As vacas tiveram acesso à água de boa qualidade e também uma mistura mineral, que ficava o tempo todo à disposição, durante todo período experimental.

Todos os animais passaram por controle sanitário realizado diariamente, no qual receberam vacinas contra aftosa e raiva, além de serem mantidos livres de carrapatos ou quaisquer outros tipos de infestações.

Nesse trabalho, o grupo de animais que forneceram informações de interesse para a pesquisa foi constituído exclusivamente de gado Holandês, variedade preta e branca, criado em sistema de confinamento total com baias individuais, em fase de lactação semelhante e que já haviam passado pelo menos por uma parição. Seus pesos variavam entre 500 e 600 kg. Optou-se, também, por vacas com produção média de 27 kg de leite.dia⁻¹. A forma de alimentação, bem como os horários e rotinas de manejo não foram alterados em detrimento da pesquisa, seguindo assim os padrões diários da fazenda.

4.3.2. Descrição do alojamento

As vacas foram alojadas em um galpão do tipo *freestall* (estabulação livre) orientado no sentido leste-oeste e dimensões de 80,0 m de comprimento por 28,0m de largura e pé-direito de 3,5m, com capacidade para alojar todos os animais adultos, divididos em dois lotes. Sua cobertura era de telhas de barro tipo francesa com cumeeira aberta (lanternim) a uma altura de 9m. O galpão era totalmente aberto, os pilares de sustentação de madeira e o piso de concreto ranhurado. Um corredor central medindo 2,9m de largura separava os lotes (Figura 8). As camas eram forradas com borracha de pneu e recobertas por tecido impermeável e possuíam dimensões de 1,1m de largura e 2,1m de comprimento. O número total de camas por lote era de 114, divididas em dois grupos de 57 camas dispostas frente a frente, conforme ilustra a Figura 9.



Figura 8. Vista interna do *freestall*.



Figura 9. Visão panorâmica interna do *freestall*, com detalhe das baias individuais.

Em pesquisas realizadas por TURNER et al. (1992) e WEST (2003), o uso da climatização conseguiu potencializar a dissipação do calor, melhorando o ambiente e, conseqüentemente, a produção. Já BACCARI JUNIOR (1998), BAETA e SOUZA (1997) e MOURA (1999) afirmaram que as exigências de ventilação obedecem a critérios distintos, podendo esta ser higiênica ou térmica.

Desta forma, para um melhor arrefecimento térmico, o galpão contava com equipamentos de climatização (ventiladores e aspersores) localizados nas áreas de comedouros e camas. Os ventiladores possuíam diâmetro de 0,9m, espaçados a cada 11,0m, equipados com motor de $\frac{1}{4}$ CV, vazão de $300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, 495 RPM e capacidade de produzir movimentação de ar de até $2,5 \text{ m s}^{-1}$. Na área de alimentação os ventiladores foram fixados a altura de 2,5m e na área de descanso (camas) a 2,0m. Os ventiladores eram acionados por meio de um termostato toda vez que a temperatura no interior do galpão atingia 25°C . O sistema de aspersão foi montado em toda extensão do galpão, na altura de 2,5m acima da linha de alimentação (comedouros), constituído por tubos de PVC, com espaçamento entre bicos de 1,0m, e acionamento por uma bomba com motor trifásico, de maneira que a vazão da água nos aspersores chegasse a 30 L h^{-1} e a intermitência de 12 min. Porém, este recurso da aspersão não foi utilizado durante o experimento, por se tratar de um período chuvoso, com alta umidade do ar.

4.3.3. Descrição reprodutiva das vacas

Para a padronização reprodutiva das vacas, estas passaram por um processo de sincronização de cio, de acordo com o protocolo IATF (inseminação artificial por tempo fixo), o qual se encontra no Anexo 3 deste trabalho. O comportamento reprodutivo dos 20 animais selecionados também foi observado por um funcionário experiente, nos meses de janeiro, fevereiro e março, três vezes ao dia, no período da manhã, às 06h:00min e 10h:00min, e ao final da tarde, às 17h:00min.

Seguindo a colocação de FORTES (2004), em que a utilização de *softwares* gerenciais, na produção bovina, é importante para um melhor controle do rebanho, além da observação visual, paralelamente utilizou-se pedômetros nos animais para registrar alterações na movimentação e reforçar a ocorrência do cio. As atividades registradas pelos pedômetros foram monitoradas com programa Dairy Plan C21[®], versão 5.2, da empresa Westfalia Surge (Figura 10).



Figura 10. Programa gerencial de monitoramento dos pedômetros (tela principal)

Com relação à caracterização das vacas, cada uma delas teve uma ficha de identificação (Tabela 3), onde constaram as informações necessárias para testar o modelo desenvolvido. As fichas individuais já preenchidas de cada animal se encontram no Anexo 3.

Tabela 3. Ficha de Identificação de cada animal

IDADE (anos)	
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA	
DOENÇAS (últimos 3 meses)	
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS	
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	
Observações:	

No que diz respeito à observação visual do cio, o funcionário responsável utilizou um questionário para anotar quais os indícios de estro sugeridos por CARDOSO (2002) e VANZIN (2006), e adaptados pela especialista Dra. Maria de Fátima Ávila Pires, que os animais apresentaram, conforme a Tabela 4.

Embora alguns indícios sejam específicos de estro, enquanto outros possam ocorrer por mais de um motivo, no caso deste experimento foi assumido que a constatação de qualquer um dos eventos listados na Tabela 4 deveria ser considerado como indício de estro, caso estivesse ocorrendo na época do cio ou em conjunto com outros indícios específicos.

Tabela 4. Planilha de anotação de indícios visuais de eventos

INDÍCIOS VERIFICADOS PELO OBSERVADOR:	
sim/não	
Lamber	
Farejar	
Pressão do queixo	
Cabeçada	
Perseguição	
Tentativas de saltar	
Monta	
Alteração da vulva	
Mugido constante	
Alteração na movimentação	
Observações:	

Paralelamente à utilização do protocolo IATF, as vacas do lote experimental passaram pela observação visual para constatação do estro. Considerando que as vinte vacas foram inseminadas, foi possível determinar a taxa de detecção de cio, taxa de concepção e taxa de prenhez positiva utilizando as expressões matemáticas apresentadas por ARTUNDUAGA e VILELA (2007).

4.3.4. Descrição do ambiente climático

Para a mensuração do ambiente térmico de exposição dos animais, foram utilizadas informações regionais, coletadas pelo posto meteorológico do departamento de ciências exatas da “Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz” (ESALQ), localizada próxima à Fazenda Campestre, sob as coordenadas geográficas latitude 22° 42' 30" Sul; longitude 47° 38' 00" Oeste e altitude de 546 metros. Optou-se por trabalhar com estes dados pelo fato do local em que se encontra a estação meteorológica da ESALQ representar de forma adequada o ambiente da região onde se encontra a fazenda Campestre, principalmente durante o período de verão.

Foram utilizadas as temperaturas máximas, mínimas e médias mensais de janeiro, fevereiro e março, período este de observação dos estros das vacas. Com estas informações, foi possível calcular o índice de temperatura e umidade (ITU) local, utilizado no teste do modelo proposto. As informações climáticas detalhadas deste período se encontram no Anexo 4.

Seguindo o relato de DONÁT (1991) que exaltou o poder das novas tecnologias e ferramentas disponíveis para o aumento da eficiência do trabalho experimental, o cálculo do ITU, foi realizado com um programa baseado em *visual basic*, construído por MOLLO NETO (2007). A Figura 11 ilustra a tela principal deste programa.

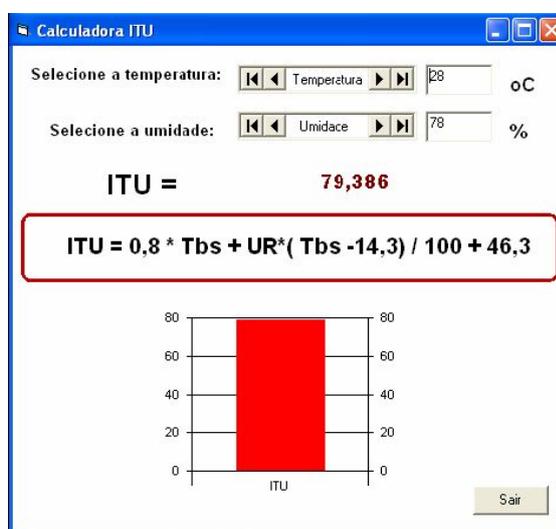


Figura 11. Tela principal do programa de cálculo de ITU

Fonte: MOLLO NETO (2007)

4.3.5. Metodologia de teste e avaliação do modelo

Este processo se baseou nas recomendações de SCHMISSEUR (1992) onde foi proposto uma comparação entre os dados coletados no campo e os resultados obtidos nas simulações, possibilitando assim uma relação quantitativa entre as técnicas qualitativas preditivas aqui abordadas e as observações reais.

Após a caracterização do ambiente climático, coleta das informações referentes aos indícios de que as vacas estavam entrando em estro, taxa de detecção e de prenhez positiva, para as situações de campo, foi possível utilizar estas informações no modelo para testá-lo.

Utilizando os valores reais no simulador foi possível comparar os resultados encontrados nas simulações, com os resultados reais, encontrados em campo. Assim o modelo foi avaliado, verificando-se as proximidades existentes entre as taxas de detecção de cio nas duas situações: a de campo e a do ambiente computacional.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Enfatizando a agropecuária brasileira em um momento que é crucial a geração, difusão e utilização de modernas técnicas de produção animal e gerenciamento rural, segundo considerações feitas por PINEDA (2001), os resultados obtidos neste trabalho, bem como a sua discussão, tiveram um enfoque criterioso do ponto de vista da avaliação de técnicas qualitativas preditivas, em especial a lógica *fuzzy*, aplicadas à bovinocultura intensiva de leite.

Desta forma, optou-se por seguir a mesma linha de pesquisa de muitos autores que vem utilizando este recurso matemático para estimativa de situações específicas em criatórios de animais (PANDORFI, 2007; SANTOS et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2005; AMENDOLA et al., 2004; MOURA et al., 2004). Observou-se também neste caso, o fato relatado por TURBAN e ARONSON (2001) de que o computador pode realizar inferências e chegar a conclusões específicas. Então nos moldes de um consultor humano, a adoção de um sistema especialista forneceu avisos e a possibilidade de verificação da lógica das explicações.

5.1. Análise das funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy*

Os conjuntos *fuzzy* que compuseram as variáveis de entrada foram dispostos de forma a assumirem intervalos pré-definidos, de acordo com informações adquiridas em literatura e o conhecimento de especialistas.

5.1.1. Análise da variável lingüística de entrada índice de temperatura e umidade (ITU)

RIVERO (1986) afirmou que o binômio temperatura média e umidade relativa do ar indica se o microclima local está próximo à zona de conforto térmico de um animal. Segundo NÄÄS (1986), a combinação de altas temperaturas com elevada umidade deprime o desempenho de vacas leiteiras.

Em parte do experimento realizado por JOHNSON e VANJONACK; apud BACCARI JUNIOR (1998) foram estudados os efeitos da temperatura ambiental e da umidade do ar sobre a produção de leite de vacas Holandesas, submetidas à variação da temperatura de bulbo seco (Tbs) de 24 a 34 °C, enquanto a umidade relativa (UR) foi de 38 a 80%. Nesta pesquisa os autores quantificaram as respectivas perdas de produção. Enquanto que os registros de produção para as condições padrão (Tbs=24°C e UR=38%) foram de 100%, à medida que estes valores foram aumentando (Tbs=34°C e UR=80%), ocorreu decréscimo de 59% na produção de leite.

NIENABER et al. (2004), após estudar a relação entre umidade do ar e temperatura ambiental, criou faixas de ITU que relacionam estas variáveis e os níveis de conforto do gado leiteiro criado em Grand Island - Nebraska. Os intervalos a partir dos quais os autores sugeriram as categorias das condições de conforto são: Normal, Alerta, Perigo e Emergência. Estas informações lingüísticas foram utilizadas num estudo preliminar elaborado por AMENDOLA et al. (2005), que mostrou a possibilidade de utilização deste índice como variável independente transcrita em forma de função de pertinência. Desta forma, nesta pesquisa utilizou-se as mesmas divisões como categorias de ITU sugeridas por AMENDOLA et al. (2005). Porém, o termo lingüístico “Normal” por compreender um intervalo de ITU ideal para o desempenho das vacas, foi renomeado como “Ideal”, já que representa as melhores condições ambientais.

Posto isto, a variável lingüística ITU apresentou os seguintes termos lingüísticos:

'IDEAL'

'ALERTA'

'PERIGO'

'EMERGENCIA'

Ainda segundo NIENABER et al. (2004), os valores recomendados para cada intervalo de ITU são: Normal valores de ITU menores ou igual a 74; Alerta valores entre 75 e 78; Perigo entre 79 a 83 e Emergência valores igual ou superiores a 84. Porém, outros pesquisadores sugeriram categorias e valores diferentes. Trabalhos de HAHN (1985) e DU PREEZ et al. (1990), afirmaram que um ITU de valor igual ou menor a 70 significa normal; entre 71 e 78 - alerta; entre 79 e 83 – perigo; e superior a 83 – emergência.

Ao avaliar vacas holandesas de um rebanho comercial na região Sudeste do Brasil, MATARAZZO (2004) observou que, mesmo sob um ambiente considerado desconfortável, com ITU acima de 75, as variáveis temperatura retal e frequência respiratória não indicaram presença de estresse. VERWOERD et al. (2006) estudou a relação existente entre as alterações fisiológicas de vacas leiteiras em lactação e mudanças ambientais. No final do experimento concluíram que existem alterações fisiológicas, em animais expostos a ITU maior que 72, porém isso não representa que os animais estão em estresse. Em conformidade com a colocação feita por MARTELLO (2006) as relações entre ITU e o desempenho animal ainda não estão claras, visto que em função da contínua adaptação destes animais ao clima predominantemente tropical, os limites de estresse representados por este índice ainda não estão bem definidos. Desta forma, nesta pesquisa, optou-se por assumir valores de ITU parecidos com os sugeridos por NIENABER et al. (2004), mas levando em consideração as sugestões de MATARAZZO (2004), VERWOERD et al. (2006) e MARTELLO (2006), o que fez com que houvesse uma sobreposição dos graus de pertinência nas extremidades de cada termo lingüístico.

O domínio dessa função ficou compreendido entre 35 e 110 e os termos lingüísticos como se segue:

IDEAL: [35, 35, 70, 75]

ALERTA: [74, 75, 78, 79]

PERIGO: [78, 79, 82, 83]

EMERGENCIA: [82, 87, 110, 110]

Para a representação gráfica desta variável, a função de pertinência que mais se adequou a este intervalo foi a trapezoidal. A Figura 12 representa como esta variável ficou subdividida.

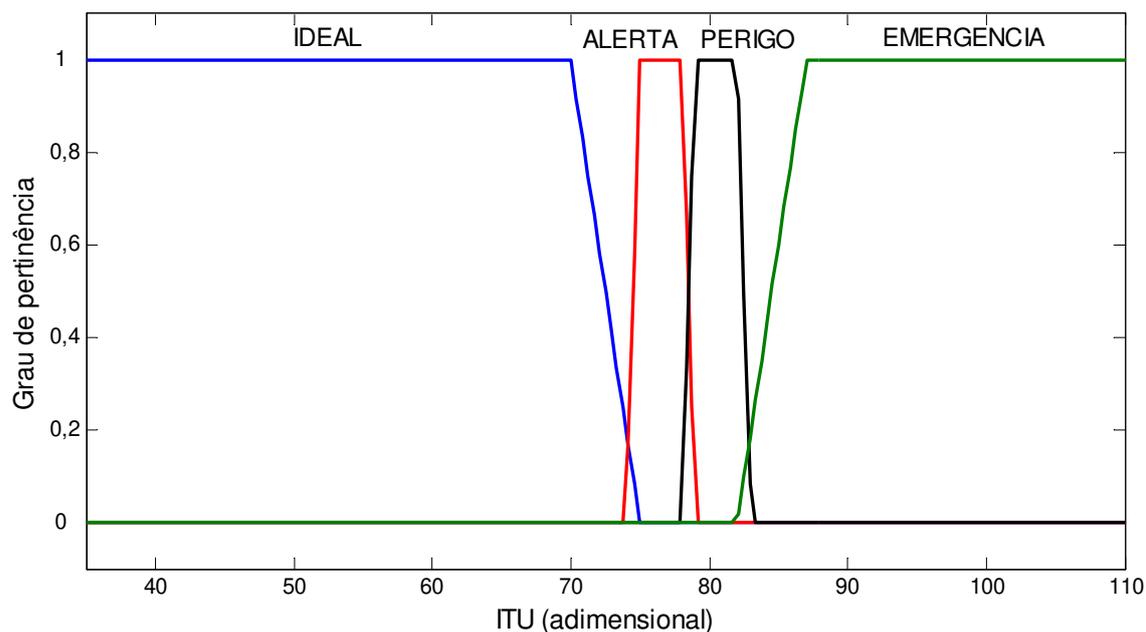


Figura 12. Funções de pertinência admitidas para a variável de entrada “índice de temperatura e umidade” (ITU).

5.1.2. Análise da variável lingüística de entrada número de comportamentos observados (NCO)

De acordo com SARRIEGO (2007), a observação visual capta as reações mais naturais das vacas leiteiras, não sofrendo influências, como pode acontecer em laboratórios. O comportamento animal, em especial o reprodutivo, é cíclico, o que propicia a possibilidade de se listar quais os principais indícios existentes de que uma vaca pode estar entrando no cio. Seja no ambiente natural ou controlado, estas informações observadas são sempre as mesmas, sendo anotadas em papéis ou diretamente no computador (NOLDUS, 1991 e NOLDUS et al., 2000). Assim, de acordo com CARDOSO (2002), o gado leiteiro apresenta 10 indícios específicos que identificam a ocorrência do estro.

Por este motivo, no caso desta pesquisa, a variável lingüística número de comportamentos observados (NCO) assumiu um domínio de 1 a 10, representando os possíveis indícios de que a vaca estaria entrando no cio, onde uma das variáveis consideradas foi o controle de alterações na movimentação através do pedômetro.

Baseado em informações de campo e opinião da especialista Dra. Maria de Fátima Ávila Pires foi possível dividir esta variável lingüística em três termos lingüísticos, de acordo com os possíveis indícios visualizados no campo. Dessa forma, o termo lingüístico denominado POUÇO, assumiu um intervalo de 1 a 4 indícios de estro, representando animais em que a observação visual não capta muitos indícios. Já o NORMAL é aquele onde a vaca apresente pelo menos 3 indícios de que está prestes a entrar no estro, podendo chegar a 6. Porém, se o observador conseguir perceber mais de 5 inícios de cio, considera-se neste caso uma situação IDEAL. A sobreposição entre os extremos dos termos lingüísticos se deu pelo fato de serem “zonas de transição” entre situações distintas. Então, de uma forma geral, esta variável lingüística ficou assim dividida:

POUÇO: [1, 1, 3, 4]

NORMAL: [3, 4, 5, 6]

IDEAL: [5, 6, 10, 10]

Conforme pode ser verificado na Figura 13, a função de pertinência que melhor se enquadrou neste caso foi a trapezoidal. Isto aconteceu, pelo fato dos indícios que compõe um mesmo termo lingüístico não alteram seu peso qualitativo, ocorrendo este fato apenas em seus extremos. O termo lingüístico IDEAL possui seu extremo superior com grau de pertinência um a partir de seis indícios, pois neste caso a vaca já está apresentando consideráveis comportamentos de cio.

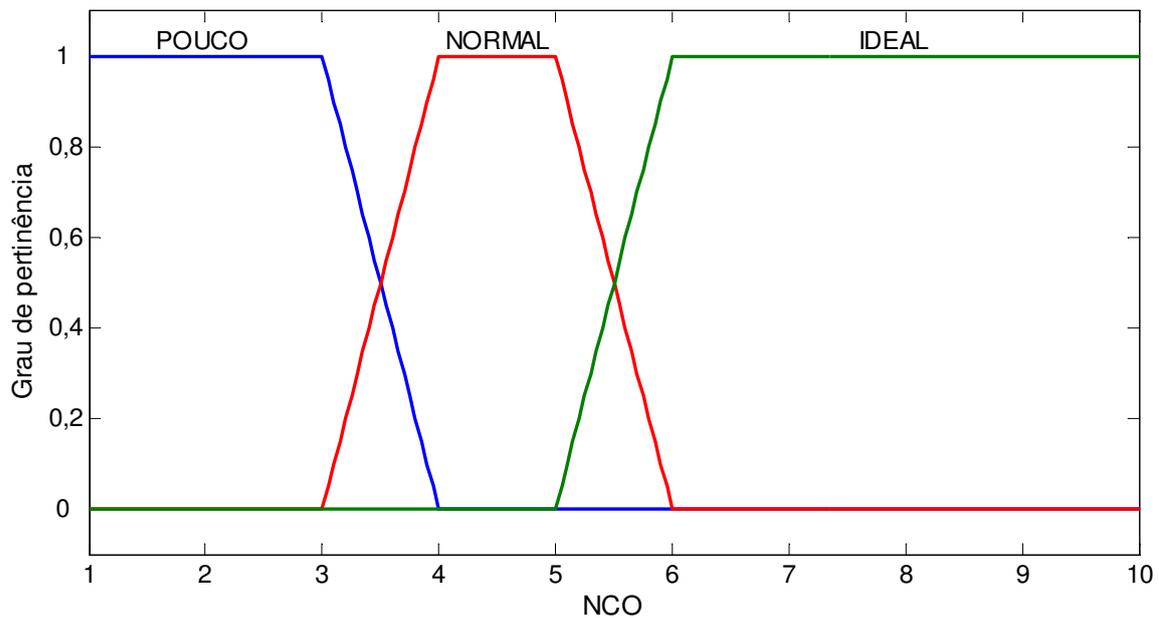


Figura 13. Funções de pertinência admitidas para a variável de entrada “número de comportamentos observados” (NCO).

5.1.3. Análise da variável lingüística de entrada período após o último cio (PAUC)

Segundo LEITE (2001), o período do cio em vacas não prenhas é cíclico, podendo ocorrer a cada 18 a 23 dias. Porém, o mais comum é que aconteça sempre no 21º dia. De acordo com as orientações de CARDOSO (2002), em que uma inseminação com sucesso deva ser realizada no final do cio ou início do pós-cio, e colocações de VANZIN (2006), onde o pré-cio não é a melhor ocasião para se inseminar, porém o animal já começa a apresentar indícios de estro, nesta pesquisa assumiu-se o intervalo estipulado por LEITE (2001) porém, em um domínio de 13 a 28 dias. Assim, cios ocorridos entre 13 e 19 dias foram considerados curtos e de 22 a 28 dias como sendo tardios, sendo que uma situação normal está compreendida entre 18 e 23 dias. As sobreposições dos graus de pertinência nas extremidades de cada termo lingüístico se devem pelo fato destes pontos representarem justamente diferenças fisiológicas entre animais que podem atrasar ou adiantar seu estro por um pequeno intervalo de tempo, gerando assim um ponto de incerteza nestes limites.

A variável lingüística PAUC teve seus termos lingüísticos representados como se segue:

CURTO: [13, 13, 15, 19]

NORMAL: [18, 20.5, 21.5, 23]

LONGO: [22, 26, 28, 28]

No caso desta variável de entrada em um domínio assumido de 13 a 28 dias, a função de pertinência que mais se adequou foi a trapezoidal, visto que o dia ideal para que ocorra o cio é o 21º (com uma variação de 0,5 dia) e quanto mais se distancia deste dia maior a possibilidade da vaca estar com seu ciclo estral desregulado. Situação semelhante pode ser dita com relação aos termos lingüísticos “CURTO” e “LONGO”, onde quanto maior o grau de pertinência, mais distante o animal se encontra de uma situação “NORMAL”, sendo que um PAUC entre 13 e 15 dias significa totalmente curto e entre 26 e 28 dias totalmente longo. A representação gráfica desta função pode ser vista na Figura 14.

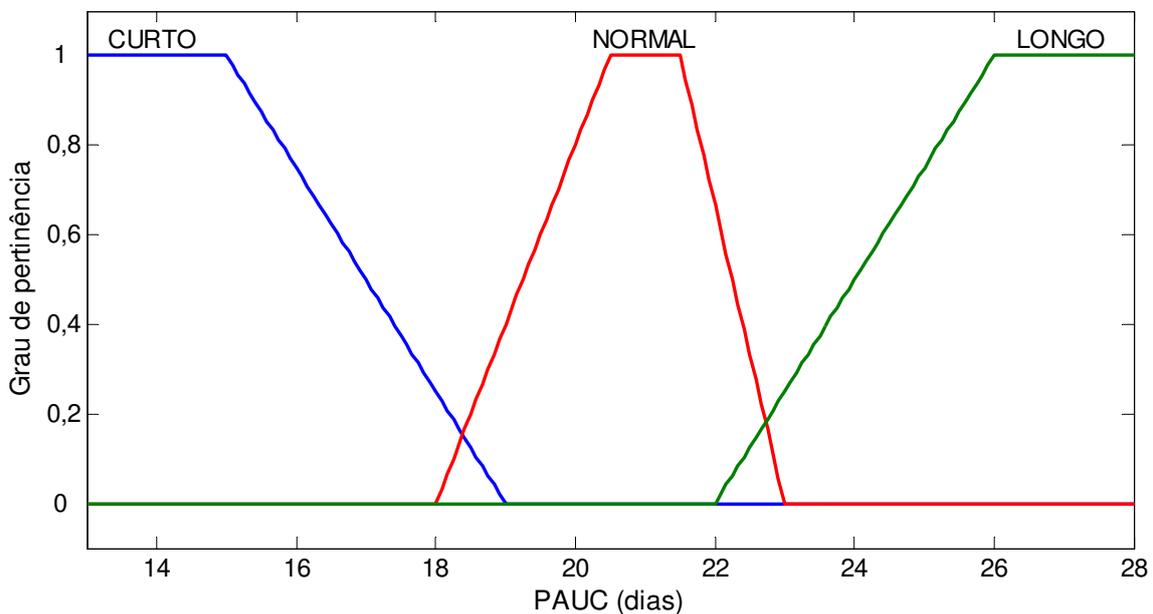


Figura 14. Funções de pertinência admitidas para a variável de entrada “período após o último cio” (PAUC).

5.2. Análise da variável lingüística de saída Taxa de Detecção de Cio (TDC)

O uso de um método de raciocínio *fuzzy* é baseado em regras do tipo SE-E-ENTÃO para inferir um diagnóstico de saída. No caso deste modelo, o sistema de inferência *fuzzy* aplicado foi o método de Mamdani (MAMDANI e ASSILIAN, 1975), por ter sido este considerado a forma de gerar uma “*defuzzificação*” que melhor relaciona as proposições, obtendo-se a partir daí valores numéricos para uma representação mais próxima da realidade. Segundo LEE (1990), a estratégia de “*defuzzificação*” deve produzir uma ação de controle não difusa que melhor represente a distribuição de possibilidade de uma ação de controle difuso inferida. O autor citou alguns trabalhos de análise das estratégias de “*defuzzificação*” e ressalta que o centro de gravidade é o método que permite obter melhores resultados, do ponto de vista de representar o raciocínio humano. Baseado nessa afirmação, e pelo fato da base de regras ter sido ponderada de acordo com o conhecimento da especialista, optou-se neste trabalho por utilizar a estratégia do centro de gravidade.

FIRK et al. (2003) realizaram experimento para verificar a importância de empregar informações de estros já ocorridos de vacas em simulações realizadas com a lógica *fuzzy*. Consideraram o domínio da variável lingüística de saída $[0;1]$, sendo α um valor qualquer neste intervalo. Se $\alpha = 0$ não houve nenhum acerto de estro com base em informações de atividades já existentes e se $\alpha = 1$, houve acerto total nas previsões.

Desta forma, como informação de saída nesta simulação *fuzzy* foi fixada, com o auxílio da especialista, valores que representam a possibilidade de uma vaca entrar ou não em cio. Neste caso o domínio deste intervalo seguiu o padrão de FIRK et al. (2003) sendo restrito entre 0 e 1, onde para o termo lingüístico de saída “taxa de detecção de cio” (TDC) valores próximos a zero (0) significam baixíssima possibilidade do animal entrar em cio e valores próximos a um (1) indicam altíssima possibilidade de ocorrência de estro.

A função de pertinência que melhor se adequou a este cenário foi a trapezoidal, seguindo as tendências de MOLLO NETO (2007) e De BELIE e ROMBAUT (2003). De uma forma geral, como KASTELIC (2001) considera boa uma taxa de detecção de cio superior a 70% e HANSEN (2003) que afirma ser quase impossível, mesmo para um tratador experiente detectar a presença de cio em mais de 80% das vacas de um rebanho, o termo lingüístico TDC ficou assim dividido:

MUITO-BAIXA: [0, 0, 0.20, 0.30]

BAIXA: [0.25, 0.30, 0.40, 0.45]

MÉDIA: [0.40, 0.45, 0.55, 0.60]

ALTA: [0.55, 0.60, 0.70, 0.75]

MUITO-ALTA: [0.70, 0.80, 1, 1]

A representação gráfica desta função pode ser vista na Figura 15.

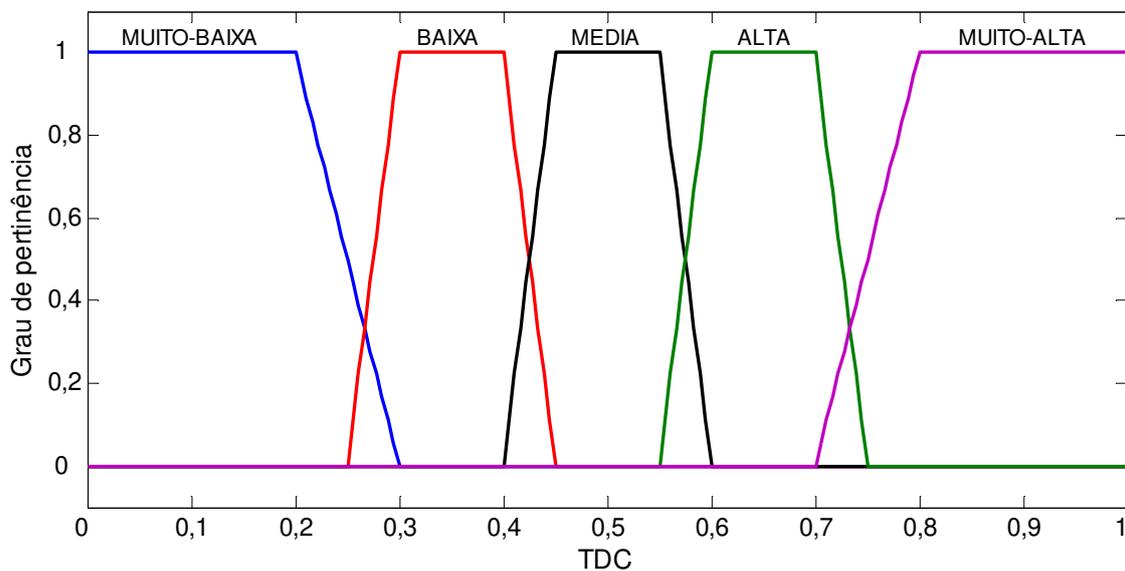


Figura 15. Funções de pertinência admitidas para a variável de saída “taxa de detecção de cio” (TDC).

5.3. Análise da base de regras composta pelas proposições *fuzzy*

Segundo GIARRATANO e RILEY (1998) a base de regras ou base de conhecimento é externa ao algoritmo do sistema. Por esta razão, as regras que relacionaram as variáveis de entrada com a variável de saída foram geradas com base no conhecimento específico da especialista, após incremento de informações revisadas na literatura. Desta forma, a relação entre as variáveis de entrada e de saída se deu com a utilização das preposições *fuzzy* de entrada se (If), e (and), e de saída então (Then), que originou um controlador de lógica *fuzzy*.

Esta mesma metodologia foi adotada por MOLLO NETO (2007), PANDORFI et al. (2007), SANTOS et al. (2006), OLIVEIRA et al. (2005), AMENDOLA et al. (2004), MOURA et al. (2004).

As regras distintas de inferência foram do tipo:

Se ITU é _____ e NCO é _____ e PAUC é _____, então TDC é _____.

A Tabela 4 apresenta as 36 possíveis combinações entre as variáveis de entrada e a variável de saída.

Tabela 4. Representação da base de regras distintas utilizadas na inferência *fuzzy*

		ITU ¹			
PAUC ²	NCO ³	IDEAL (35 - 75)	ALERTA (74 - 79)	PERIGO (78 - 83)	EMERGÊNCIA (82 - 110)
CURTO (13 - 19)	<i>POUCO (1 - 4)</i>	MUITO BAIXA (0 - 0,30)			
	<i>NORMAL (3 - 6)</i>	MEDIA (0,40 - 0,60)	MEDIA (0,40 - 0,60)	MUITO BAIXA (0 - 0,30)	MUITO BAIXA (0 - 0,30)
	<i>IDEAL (5 - 10)</i>	MEDIA (0,40 - 0,60)	MEDIA (0,40 - 0,60)	BAIXA (0,25 - 0,45)	MUITO BAIXA (0 - 0,30)
NORMAL (18 - 23)	<i>POUCO (1 - 4)</i>	BAIXA (0,25 - 0,45)	BAIXA (0,25 - 0,45)	MUITO BAIXA (0 - 0,30)	MUITO BAIXA (0 - 0,30)
	<i>NORMAL (3 - 6)</i>	ALTA (0,55 - 0,75)	ALTA (0,55 - 0,75)	BAIXA (0,25 - 0,45)	BAIXA (0,25 - 0,45)
	<i>IDEAL (5 - 10)</i>	MUITO ALTA (0,70 - 1)	ALTA (0,55 - 0,75)	MEDIA (0,40 - 0,60)	MEDIA (0,40 - 0,60)
LONGO (22 - 28)	<i>POUCO (1 - 4)</i>	MUITO BAIXA (0 - 0,30)			
	<i>NORMAL (3 - 6)</i>	MEDIA (0,40 - 0,60)	MEDIA (0,40 - 0,60)	MUITO BAIXA (0 - 0,30)	MUITO BAIXA (0 - 0,30)
	<i>IDEAL (5 - 10)</i>	MEDIA (0,40 - 0,60)	MEDIA (0,40 - 0,60)	BAIXA (0,25 - 0,45)	MUITO BAIXA (0 - 0,30)

1 - ITU (índice de temperatura e umidade) - para fins experimentais fixou-se um intervalo de 35 a 110 (adimensional).

2 - PAUC (período após o último cio) - para fins experimentais fixou-se um intervalo de 13 a 28 dias.

3 - NCO (número de comportamentos observados) - para fins experimentais fixou-se um intervalo de 1 a 10 indícios de estro.

Observando as regras merecem destaque algumas situações que, de acordo com a especialista, na prática seriam improváveis de ocorrer, mas no caso da simulação foram consideradas, porém, com possibilidade muito baixa de TDC. Foi o caso das regras:

- Se (ITU é EMERGENCIA) e (NCO é IDEAL) e (PAUC é CURTO) então (TDC é MUITO BAIXA)
- Se (ITU é EMERGENCIA) e (NCO é IDEAL) e (PAUC é LONGO) então (TDC é MUITO BAIXA)

Estes dois casos podem ser justificados pelo fato de que realmente é improvável que uma vaca exposta a um ambiente extremamente desfavorável e esteja apresentando um cio precoce ou tardio, manifeste um número elevado de indícios de que está em estro.

Considerando a premissa de FRASER (1999) que resume bem-estar animal como sendo o fato de que os animais devem sentir-se bem, funcionar bem e terem reações naturais quando expostos a uma determinada situação, as regras consideradas quase impossíveis de acontecer, estão de acordo com esta conceitualização, visto que se trata de situações estressantes. Assim, se as vacas estão em desconforto, seu desempenho reprodutivo pode ser sensivelmente alterado, segundo pesquisas desenvolvidas por DOBSON e SMITH (2000), PIRES et al. (1998), VAN BORELL (1995) e KING et al. (1976).

5.4. Avaliação da base de regras ativada

Segundo LEE (1996) e LEAKE (1996), a descrição de um problema é feita através de atribuições de características que descrevam este fato de entrada, gerando uma situação de saída. Baseado nesta afirmação, para este trabalho optou-se em representar valores de ITU, PAUC e NCO na forma de base de regras ativadas e simular situações que envolvessem valores ideais e extremos, gerando assim cenários onde a variável de saída TDC pudesse ser valorada. Esta opção pela base de regras ativada tornou mais fácil a visualização das situações adotadas.

5.4.1. Base de regras ativada para valores ideais

Um dos fatores que mais influencia nos níveis de estresse das vacas é a variação térmica ambiental. RIVERO (1986) afirmou que o binômio temperatura média do ar e umidade relativa do ar, indica se o microclima local está próximo à zona de conforto térmico de um animal. O índice de temperatura e umidade (ITU) engloba os efeitos combinados da temperatura de bulbo seco e umidade. Assim, um ITU igual a 70 foi considerado como sendo o ideal, segundo sugestão de VERWOERD et al. (2006), MARTELLO (2006), NIENABER (2004), MATARAZZO (2004), DU PREEZ et al. (1990), HAHN (1985), ROSENBERG et al. (1983), e JOHNSON (1980).

No caso de vacas que não estão sofrendo estresse térmico ou qualquer outro tipo de disfunção, de acordo com LEITE (2001) e VANZIN (2006) o dia mais provável para que este animal entre no cio é o 21º dia. Por este motivo, assumiu-se este dia como sendo o ideal de ocorrência de estro. Visto o experimento de CARDOSO (2002), que relata 10 indícios de que uma vaca vai entrar no cio, e a experiência da especialista que afirma que a observação de 6 indícios ou mais é tecnicamente excelente para caracterização de uma situação de estro, considerou-se este valor como sendo uma situação ideal.

A Figura 16 ilustra a base de regras ativada para situações hipoteticamente ideais.

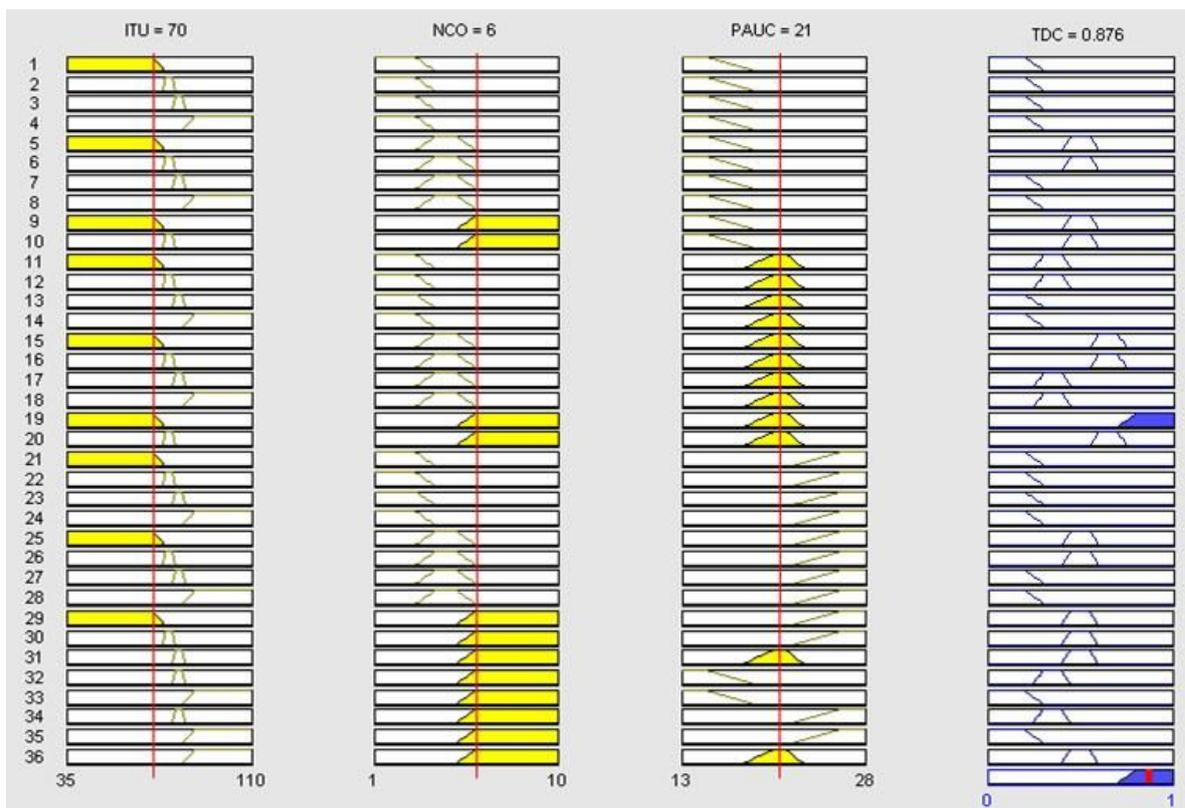


Figura 16. Base de regras ativada para valores ideais

Analisando a Figura 16, em que ITU, PAUC e NCO assumem valores ideais, a variável de saída TDC resulta em um valor de 0,876, o que representa a possibilidade de 87,6% de segurança na resposta referente ao fato de uma vaca entrar no cio diante das condições padrão. Considerando a afirmação de KASTELIC (2001), onde 70% pode ser considerado um bom grau de acerto na detecção de cio e também a colocação de HANSEN (2003) que diz ser quase impossível, mesmo para um tratador experiente detectar a presença de cio em mais de 80% das vacas de um rebanho, uma simulação onde a taxa de detecção chega aos 87,6% sugere elevado grau de acerto na detecção do cio.

Observando-se a variável lingüística TDC, o valor encontrado, neste caso, pode ser enquadrado no termo lingüístico “MUITO-ALTA”. Outros pesquisadores também tiveram êxito em simulações envolvendo lógica *fuzzy* na detecção de cio, como foi o caso de FIRK et al. (2003), e MAATJE et al. (1996).

5.4.2. Base de regras ativada para valores extremos

Para uma melhor visualização das possíveis simulações a serem feitas com este modelo, foram reproduzidas algumas situações mais próximas das que podem ocorrer na realidade, como as que envolvem ITU acima do ideal, NCO reduzidos e PAUC fora do intervalo normal. As Figuras 17, 18 e 19 representam as bases de regras ativadas para cada uma destas estas situações.

Na Figura 17 é possível observar que em uma situação onde esteja ocorrendo um extremo climático caracterizado por alto valor de ITU (84), muito comum no Brasil, juntamente com uma drástica redução dos indícios de que o animal está entrando no cio (2), como sugerem MOBERG (1987), NOBEL et al. (1997) e COLLIER et al. (2006), mesmo que a vaca entre no cio em seu 21º dia, sua taxa de detecção de cio pode ser considerada muito baixa ($\alpha = 0,138$ ou 13,8%), confirmando as tendências expostas por PUTNEY et al. (1989), HEAD (1995) e BERMAN (2005).

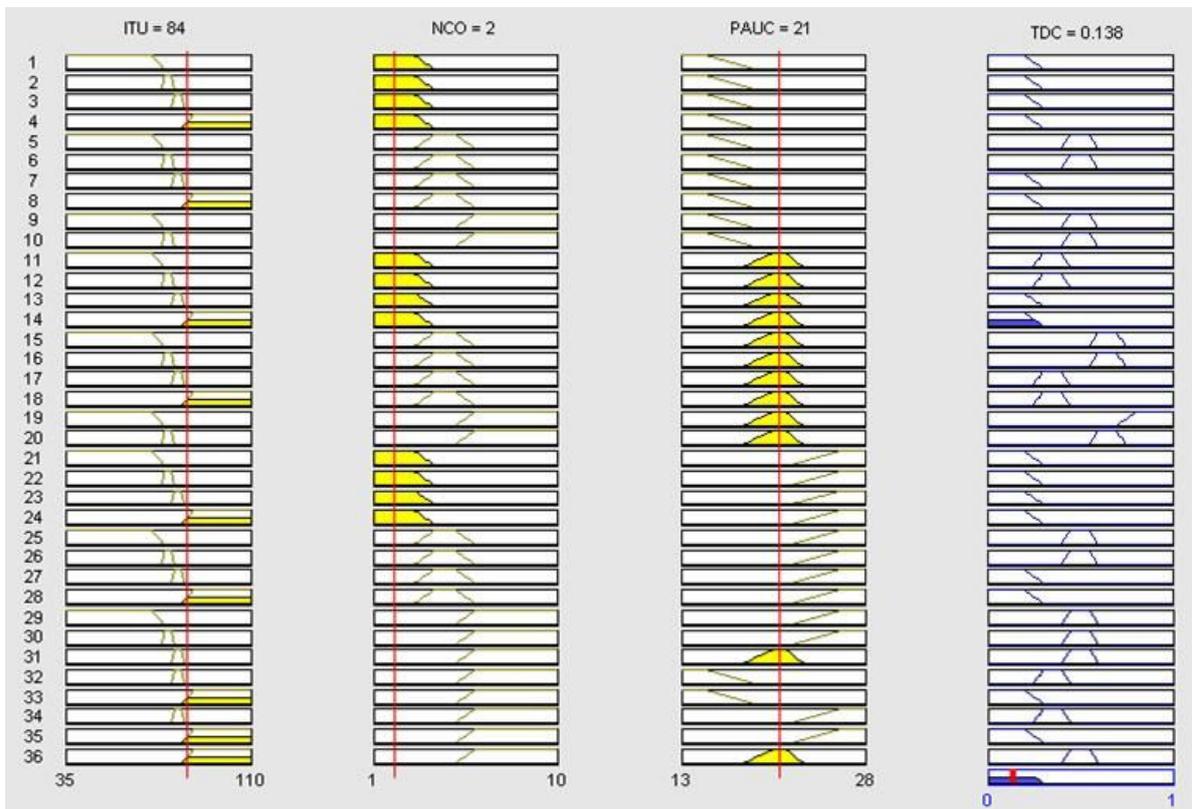


Figura 17. Base de regras ativada para valores de ITU elevados e NCO baixo

Já no cenário apresentado na Figura 18, o ITU assume um valor considerado ideal (70), e o animal apresenta normal de indícios de estro (4), o que pode ser consequência do conforto térmico. Porém, nesta situação considerou-se que em decorrência de fatores externos a vaca expressa seus indícios de estro no 24º dia, ou seja, cio tardio. Neste caso, pelo fato do ambiente de exposição ser ideal e haver uma quantidade um pouco maior de indícios de estro, a taxa de detecção pode ser considerada média ($\alpha = 0,5$ ou 50%).

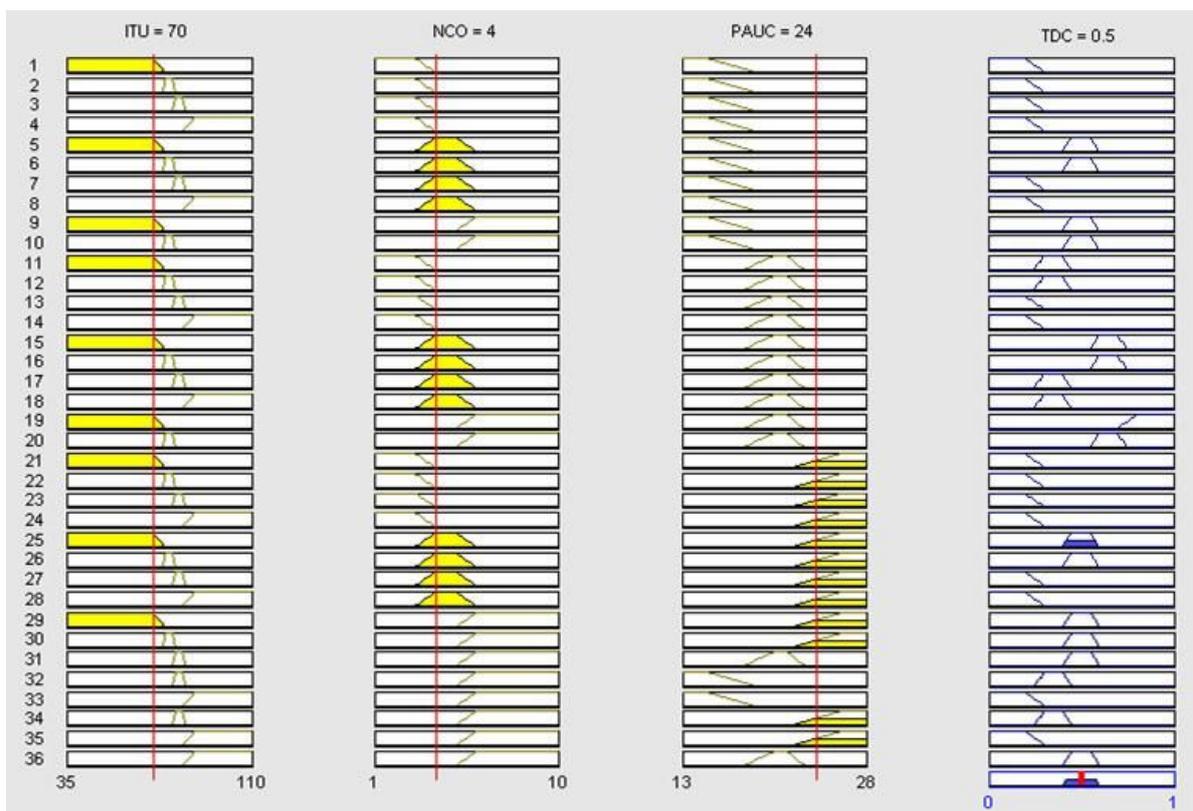


Figura 18. Base de regras ativada para valores de PAUC elevados e NCO normal

Na Figura 19 a variável de entrada que sofreu alteração foi o NCO, sendo mantidas as demais em patamares ideais. Como foram poucos os comportamentos de cio observados (2) a TDC também foi baixa ($\alpha = 0,35$ ou 35%). Isto se deve ao fato dos indícios visuais relatados por CARDOSO (2002) não estarem ocorrendo em quantidade suficiente para uma boa caracterização do estro.

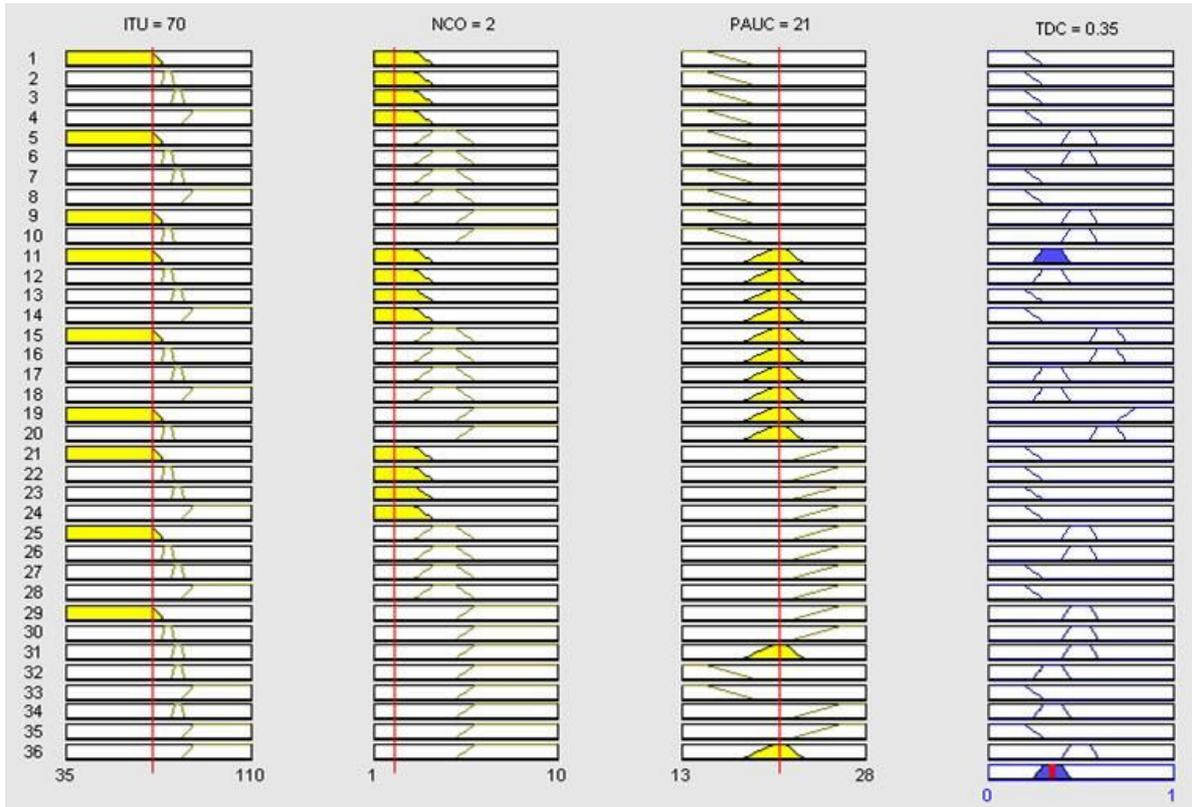


Figura 19. Base de regras ativada para valores de ITU e PAUC normais e NCO baixo

Comparando as Figuras 17, 18 e 19, uma das características que mais chama a atenção é o fato de ser a variável lingüística de entrada NCO a que possui influência mais notável na TDC. No cenário proposto na Figura 18, onde o NCO é normal, a TDC é média (50%). Já na Figura 19, com um NCO baixo, a TDC reduz para 35% e se combinada com um ITU de emergência, como na Figura 16, a TDC diminui ainda mais, sendo de 13,8%.

A importância do NCO na TDC também pode ser observada ao se analisar o sistema de controle *fuzzy*. Mantendo-se o ITU e NCO ideais e variando a barra vertical da variável PAUC do simulador *fuzzy*, a TDC assume valores entre 0,5 e 0,876. A mesma variação da TDC é encontrada quando se move a barra vertical do ITU fixando-se um NCO ideal e PAUC normal. Já no caso de serem mantidos um ITU ideal e PAUC normal, com a rolagem da barra vertical do NCO, a TDC assume valores que vão de 0,35 a 0,876, demonstrando assim uma maior amplitude dos valores da variável de saída.

5.5. Superfície 3D

Como para cada valor atribuído às variáveis de entrada, o sistema gera um valor de saída, nota-se que o sistema *fuzzy*, neste caso, desempenha o papel de uma função de duas variáveis com valores reais, cujo gráfico tridimensional (3D) é a superfície gerada pelas operações lógicas específicas. Porém, isto é possível apenas no caso da terceira variável de entrada assumir um valor fixo.

A visualização da base de regras através de uma superfície 3D pode ilustrar as relações existentes entre o índice de temperatura e umidade (ITU) associado ao número de comportamentos observados de cio (NCO), para um valor único de PAUC. Desta maneira fica fácil visualizar as diferentes situações de previsão de cio em vacas leiteiras, possibilitando prever qual a melhor região para a detecção do estro diante deste cenário. A Figura 20 traz uma superfície que representa graficamente a interação entre estas variáveis envolvidas na obtenção da resposta de cio. Neste caso, a variável de entrada PAUC assumiu o valor descrito por LEITE (2001) de que é o 21º dia o mais propício para ocorrência do cio.

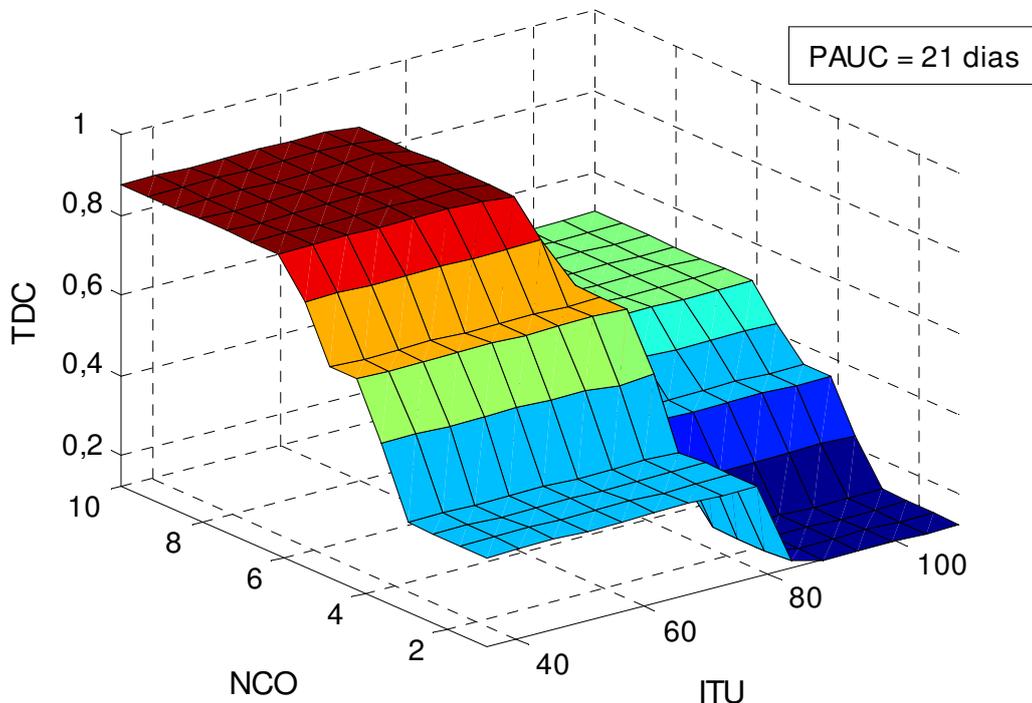


Figura 20. Superfície 3D relacionando NCO, ITU e TDC

Observando a Figura 20, fica claro perceber que existe uma relação direta entre NCO e ITU. Outra característica marcante é o fato de que se a vaca apresenta baixos indícios visuais de estro, mesmo sob um valor de ITU ideal, a taxa de detecção de cio é baixa, o que se justifica pelo fato de ser ainda hoje a observação visual a principal forma de identificação de cio, de acordo com LEITE (2001), CARDOSO (2002) e VANZIN (2006). Caso o ambiente térmico esteja provocando uma elevação do ITU acima do nível ideal, mesmo que o animal apresente vários indícios de estro, sua taxa de detecção fica comprometida, em decorrência do estresse térmico, o que também foi afirmado por PUTNEY et al. (1989), HEAD (1995) e BERMAN (2005).

5.6. Estudo das informações coletadas na fazenda Campestre

Para que haja uma maior eficiência produtiva, há a necessidade de se monitorar melhor o ambiente em que os animais estão inseridos, sem prejudicar seu bem-estar. Neste sentido, a fazenda Campestre contou com um aparato tecnológico utilizado para o monitoramento e controle do rebanho leiteiro, prática esta recomendada por DAY et al. (2000). Para o período de verão, foi possível observar que os animais, mesmo sendo criados em sistema de confinamento, apresentavam certo grau de estresse térmico, situação semelhante às relatadas nos trabalhos de KING (1993), VERBECK et al. (1995), NOBEL et al. (1997) e SOUZA (2006).

TITTO (1998) afirmou que a temperatura média do ar no país é maior que 20°C e a temperatura máxima pode atingir, muitas vezes, valores acima de 35°C. No caso da fazenda Campestre, as temperaturas máximas de exposição dos animais chegaram a 32,5°C durante o período experimental, com uma UR acima dos 90%. Seu detalhamento se encontra no Anexo 4 deste trabalho. Estes valores mostram que o binômio temperatura x umidade relativa do ar está fora da zona de conforto, podendo refletir na produção e reprodução das vacas, de acordo com HAHN (1982); FRAZZI et al. (1998); BACCARI JUNIOR (1998); WEST (2003) e NÄÄS e SOUZA (2003).

O estresse também pode ser confirmado pela diminuição da ingestão de alimentos e aumento no consumo de água, o que também foi descrito por HUBER (1990), GRANT e ALBRIGHT (1995), PIRES et al. (2000) e MATARAZZO et al. (2003).

Para a avaliação do ambiente climático, foram utilizadas as temperaturas máximas, médias e mínimas no cálculo do índice de avaliação térmica ITU, o que se deu com o programa baseado em Visual Basic[®], construído por MOLLO NETO (2007). Os resultados se encontram na Tabela 5.

Tabela 5. Índice de temperatura e umidade (ITU) da fazenda Campestre.

MÊS	ITU MÁX.	ITU MÍN.	ITU MÉDIO
DEZ	84	66	76
JAN	83	66	64
FEV	85	65	75
MAR	88	66	77
ABR	85	62	73

Através da Tabela 5, é possível observar na coluna dos valores de ITU máximos, que durante o período experimental, nos meses de janeiro a março, este índice alcançou patamares considerados de emergência, de acordo com HAHN (1985), DU PREEZ et al. (1990), NIENABER (2004), MATARAZZO (2004), VERWOERD et al. (2006). Esta situação só não se agravou ainda mais, pois, por se tratar de uma estação chuvosa, que acabou proporcionando um arrefecimento térmico natural em determinados períodos e também pelo fato da propriedade contar com ventiladores.

Visto que os animais da fazenda Campestre estavam sujeitos ao estresse térmico durante o período experimental, houve uma alteração na quantidade de indícios de cio apresentados pelas vacas, que foram registrados por um funcionário da fazenda, responsável por esta função. A Tabela 6 apresenta esta caracterização dos animais.

Tabela 6. Indícios visuais de estro identificados pelo tratador

INDÍCIOS VERIFICADOS PELO OBSERVADOR:	
Lamber	NÃO
Farejar	SIM
Pressão do queixo	NÃO
Cabeçada	NÃO
Perseguição	SIM
Tentativas de saltar	SIM
Monta	SIM
Alteração da vulva	NÃO
Mugido constante	SIM
Alteração na movimentação	SIM*
Observações: * Verificada com pedômetros, que são utilizados para aumentar o grau de certeza de que a vaca está entrando no cio, ou seja, após constatação visual, verifica-se se realmente está havendo aumento de movimentação, com o auxílio deste equipamento.	

Analisando a Tabela 6, é possível verificar que houve uma homogeneidade entre as características visuais nos animais do lote experimental. Foram observados 20 animais três vezes ao dia, nos meses de janeiro a março. Porém a ficha de anotação de indícios só foi preenchida quando o funcionário concluiu que a vaca estava entrando no cio e seria encaminhada para a inseminação.

As fichas dos vinte animais conduzidos para a inseminação foram preenchidas com as mesmas informações. Isto pode ter ocorrido em decorrência de um vício de trabalho existente no observador, o qual sempre focava os mesmos atributos em questão, desprezando inconscientemente a existência dos demais. Pode ter sido também em função de uma alteração e padronização do comportamento das vacas, como consequência destas absorverem hábitos e reações psicológicas umas das outras em função de estarem sujeitas ao mesmo nível de estresse e interação social, conforme também relatado por PIRES et al. (1998) e PERISSINOTTO (2003).

Das dez características principais de que uma vaca está entrando no cio, apenas cinco foram observadas visualmente e mais o registro do pedômetro, totalizando seis. Esta redução do número de indícios visualmente percebidos pode ter ocorrido pelo fato do estresse influenciar na caracterização do seu desempenho reprodutivo, segundo pesquisas desenvolvidas por KING et al. (1976); MOBERG (1987); VAN BORELL (1995); NOBEL et al. (1997); PIRES et al. (1998); DOBSON e SMITH (2000); COLLIER et al. (2006).

Pelo fato do bovino leiteiro apresentar variações fisiológicas e comportamentais quando exposto a um ambiente diferente de seu local de origem, e que no Brasil normalmente existem situações caracterizadas por extremos climáticos, o que significa ITU fora da região de conforto, de acordo com PUTNEY et al. (1989), HEAD (1995) e BERMAN (2005) é comum que haja uma alteração na taxa de detecção de cio em decorrência destes fatores. Assim, a Tabela 7 mostra dos 20 animais observados neste experimento, quantos apresentaram prenhez positiva após a inseminação.

Tabela 7. Reações fisiológicas reprodutivas

ANIMAIS	PAUC	PRENHEZ POSITIVA
Vaca 1	24	não
Vaca 2	21	sim
Vaca 3	20	não
Vaca 4	21	sim
Vaca 5	24	não
Vaca 6	24	sim
Vaca 7	21	não
Vaca 8	21	sim
Vaca 9	21	não
Vaca 10	21	não
Vaca 11	21	sim
Vaca 12	24	não
Vaca 13	21	não
Vaca 14	21	sim
Vaca 15	21	sim
Vaca 16	24	não
Vaca 17	21	sim
Vaca 18	21	sim
Vaca 19	21	não
Vaca 20	21	sim

Analisando a Tabela 7, é possível observar que das 20 vacas do lote, apenas 10 ficaram prenhas, situação semelhante à observada por BRUNASSI et al. (2005). Já no que diz respeito ao período após o último cio (PAUC), seis vacas apresentaram indícios de estro fora do 21º dia, sendo que um animal adiantou seu cio (20º dia) e os outros cinco tiveram cios tardios (24º dia). Segundo BRUNASSI et al. (2006) a observação do período entre as inseminações é confiável, já que o cio é confirmado por um funcionário experiente da fazenda.

Das quatorze vacas que apresentaram indícios de estro no 21º dia, nove foram inseminadas com sucesso e cinco não entraram em gestação. Já entre as cinco vacas que apresentaram indícios de cios tardios, apenas uma ficou preta. O animal que apresentou cio precoce não foi inseminado com sucesso. Com estas informações, utilizando a metodologia apresentada por ARTUNDUAGA e VILELA (2007), calculou-se a taxa de detecção de cio, taxa de concepção e taxa de prenhez para as vacas que apresentaram indícios de estro até o 21º dia, conforme pode ser observado na Tabela 8. Os animais que tiveram cios tardios foram excluídos do cálculo, por estarem fora dos 21 dias do ciclo reprodutivo.

Tabela 8. Taxa de detecção de cio (TDC), taxa de concepção (TC) e taxa de prenhez (TP) para as vacas observadas em 21 dias.

Taxa	%
TDC	75
TC	60
TP	45

Analisando-se a Tabela 8 é possível observar que a taxa de prenhez (TP) entre os animais que tiveram seu cio detectado até o 21º dia pode ser considerada boa. Isto confirma a importância de se detectar o estro e inseminar corretamente as vacas. De acordo com ARTUNDUAGA e VILELA (2007) uma taxa de prenhez (TP) de 35% parece pequena, mas conseguir alcançá-la é reflexo de um excelente desempenho reprodutivo.

McMANUS et al. (2003), afirmaram que para o caso específico do Brasil os dados existentes sobre reprodução bovina estão muito pouco ordenados, não servindo assim, para orientar de forma precisa como identificar o melhor período para as inseminações. Como na fazenda Campestre, o número de vacas que entraram no cio após o 21º dia e foram

inseminadas com sucesso é muito baixo (apenas 1 animal em 5), a prática mais comum adotada para minimizar este problema foi a sincronização com hormônios indutivos, acompanhada de um monitoramento constante, também relatado por KING et al. (1976) e DAY et al. (2000). Porém, a utilização de hormônios, como forma de sincronização química, ainda é motivo de pesquisas, visto que não há unanimidade entre os cientistas quanto aos seus resíduos ou reações estressoras (AHMADI et al., 2007; WALDMANN et al., 2006; CAVALIERI et al., 2003; CHENAULT et al., 2003; DISKIN et al., 2002; MOREIRA et al., 2001; VIÑOLES et al., 2001; SHAHAM-ALBALANCY et al., 1997; KARAGIANNIDIS, 1995).

Dessa forma, na fazenda Campestre, a necessidade de sincronização e existência de vários animais que entraram no cio fora do 21º dia, demonstraram que as vacas podem estar sofrendo influência de outros fatores, como estresse térmico e interação social, ocasionando cios vazios e inseminações mal sucedidas. Estes fatos também foram relatados por FONSECA et al. (2005), PRYCE et al. (2004), LEAN et al. (2003), KURYKIN et al. (2003), HORN et al. (2001) e GALINA et al. (1996), o que confirma a necessidade de se buscar formas alternativas de identificação do estro bovino e aumento do número de inseminações bem sucedidas nos períodos corretos.

5.7. Teste do algoritmo *fuzzy*

Um plano de teste partindo da concepção de um sistema especialista, continuando através das informações de campo, pode substanciar o desempenho de um sistema (MOLLO NETO, 2007). Desta forma, a maneira mais simples de se testar o modelo gerado foi utilizar as informações coletadas na fazenda Campestre no sistema especialista e comparar a variável de saída taxa de detecção de cio (TDC) com o valor encontrado em campo.

Para uma situação mais desfavorável assumiu-se o maior ITU do período experimental, igual a 88. Já para um cenário de conforto, testou-se o menor ITU, igual a 65. Considerando as informações contidas na Tabela 8, em que a taxa de detecção (TDC) foi de 75% e que o funcionário responsável pelo manejo reprodutivo observou seis comportamentos de estro, representou-se estas situações no simulador de lógica *fuzzy*, conforme pode ser visto nas Figuras 21 e 22.

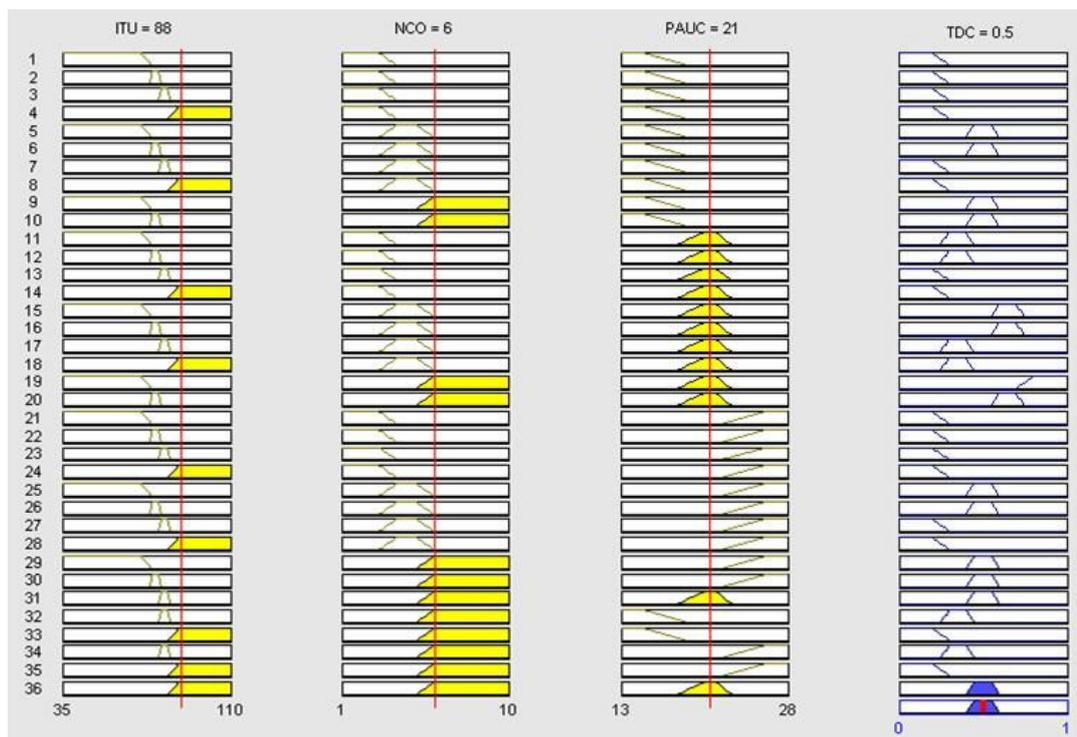


Figura 21. Base de regras ativada para um valor de ITU elevado (emergência)

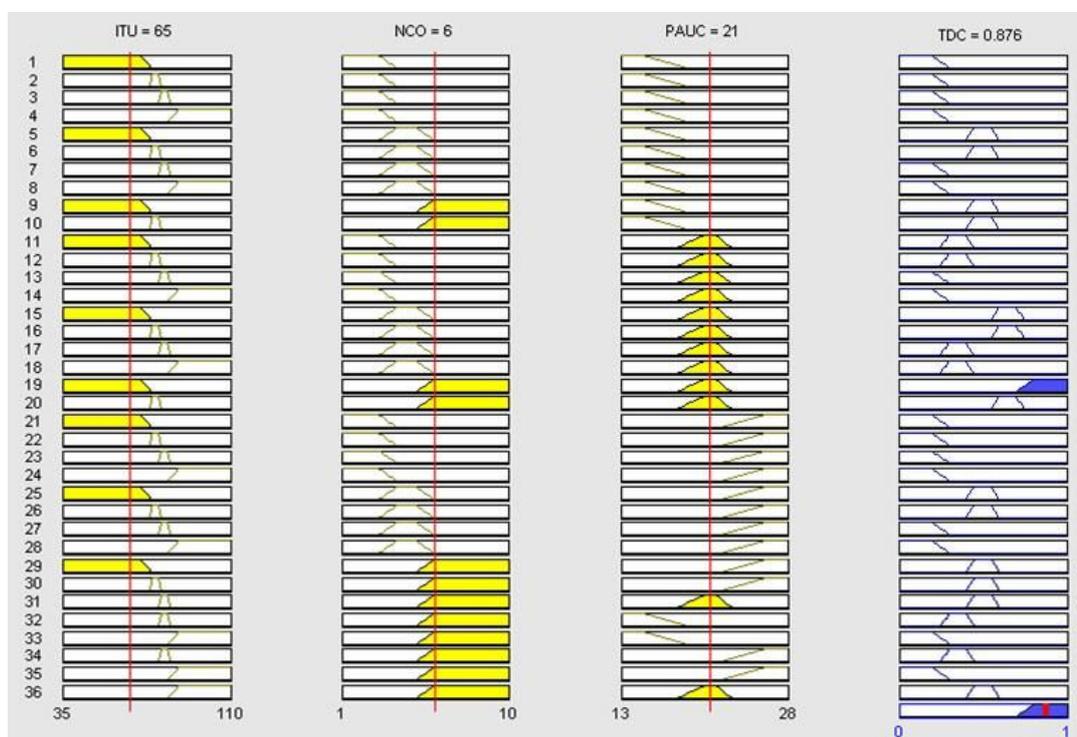


Figura 22. Base de regras ativada para um valor de ITU favorável (ideal)

Analisando a Figura 21 é possível observar que para o cenário proposto, a taxa de detecção de cio (TDC) simulada (50%) é menor que a real (75%). Já na Figura 22, onde o ITU assume um valor ideal, a TDC simulada (87,6%) é maior que a real (75%). Isto sugere que o simulador representa melhor situações com valores de ITU menos estressantes. No caso do ambiente computacional, quanto maior o ITU, menor a TDC.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados encontrados, para as condições do presente experimento, foi possível a construção de um modelo baseado na lógica *fuzzy* e dados de ambiência, além de informações fornecidas por especialista, que estime a taxa de detecção de cio para diversos cenários.

Para as simulações realizadas com o modelo proposto, a variável lingüística que propiciou maior alteração na taxa de detecção de cio (TDC) foi o número de comportamentos observados (NCO). Já o índice de temperatura e umidade (ITU) e período após o último cio (PAUC) apresentaram igual influência na taxa de detecção de cio (TDC).

A partir das situações levantadas no campo, sugere-se melhor treinamento da mão-de-obra destinada ao manejo reprodutivo e observação mais atenta dos animais.

Com base nos testes em que foram utilizados valores reais no modelo de simulação, os resultados gerados sugerem que este representa melhor situações com valores de ITUs ideais do que elevados.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo SILVA et al. (2002), o animal é uma máquina biológica que deve trabalhar sobre ótimas condições ambientais. Como no caso do Brasil isto nem sempre é possível, o comportamento de estresse ocupa lugar de destaque em pesquisas envolvendo animais.

PUTNEY et al. (1989); RODTIAN et al. (1996); PIRES et al. (1998); DOBSON e SMITH (2000); WEST (2003) e COLLIER et al. (2006) afirmaram que o estresse fisiológico causado em uma vaca afeta diretamente sua capacidade de reprodução (KING et al., 1976; MOBERG, 1987; HANSEN et al., 1992). Para minimizar este problema, a maioria dos produtores faz uso da sincronização química do cio com a utilização de hormônios. Porém, esta prática tem levantado muitos questionamentos (CAVALIERI et al., 2003; CHENAULT et al., 2003; WALDMANN et al., 2006; AHMADI et al., 2007; LEAN et al., 2003; KURYKIN et al., 2003; PRYCE et al., 2004; HORN et al., 2001 e FONSECA et al. 2005).

Diante deste cenário, e visto que a lógica *fuzzy* é uma das formas de modelagem matemática que tem sido mais utilizada no desenvolvimento de sistemas especialistas, conforme pesquisas realizadas por AMENDOLA et al. (2004), MOURA et al. (2004), OLIVEIRA et al. (2005), BRUNASSI et al. (2006), MOLLO NETO (2007) e PANDORFI et al. (2007), o modelo de simulação gerado neste trabalho pode ser aproveitado para o desenvolvimento de um *software* especialista que auxilie na detecção de cio. Além disso, recomenda-se o desenvolvimento de trabalhos futuros ainda seguindo esta linha de pesquisa, onde sugere-se a inclusão de novas variáveis de entrada, como velocidade do vento e produção de leite e o desenvolvimento de um novo modelo que simule não apenas a taxa de detecção de cio, mas também a taxa de concepção e taxa de prenhez.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRITECH, Tecnologia Agropecuária. Detectores de cio. Disponível em <<http://www.agritech.com.mx/bovinoscelo.htm>>. Acesso em 22 mai. 2007.
- AGUIAR, I. A.; TARGA, L. A. Respostas termorreguladoras, armazenamento de calor corporal e produção de leite de vacas holandesas mantidas ao sol e com acesso a sombra natural. **Energia na Agricultura**. v.14, n. 4, p.9-21. 1996.
- AHMADI, M.R.; NAZIFI, S.; SAJEDIANFARD, J.; MOATTARI, G. Impact of estrous synchronization methods on cellular proportions in cervical mucus and serum hormone concentrations. **Theriogenology**. n. 67, p. 598–604, 2007
- ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. Michigan: ASAE, n.4, 1990, 453p.
- AMENDOLA, M.; NETO, M. M.; CRUZ, V. F. Using Fuzzy Sets to analyze environmental condition in order to improve animal productivity. **Revista Biomatemática**, Campinas, v. 15, p. 29-40. 2005.
- AMÊNDOLA, 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, p.87-92, 2004.
- AMÊNDOLA, M.; SOUZA, A. Manual do uso da teoria dos conjuntos *Fuzzy* no Matlab 6.5. Campinas: CPG/FEAGRI/ UNICAMP. 2004. 30p.
- ARAÚJO, A. P. **Estudo comparativo de três sistemas produtivos de leite, com ênfase nas instalações empregadas**. Disponível em <<http://www.usp.br/fzea/FZEA/fzea/zaz/laboratorio/cpec.htm>>. Acesso em 12 abril 2003.

- ARCARO JÚNIOR, I. **Avaliação da influência de ventilação e aspersão em coberturas de sombrite para vacas em lactação.** 94p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2000.
- ARMSTRONG, D. V. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of Dairy Science.** v.77, n.7, p.2044-2050, 1994.
- ARTUNDUAGA, M. A. T., VILELA, L. **Eficiência reprodutiva, patologias reprodutivas e protocolos de reprodução (Parte I).** Recursos Humanos no Agronegócio (ReHagro). Artigo Técnico publicado em Publicado em 26 mar. 2007. Disponível em <<http://www.rehagro.com.br/siterehagro/printpublicacao.do?cdnoticia=1434>>. Acesso em 24 mai. 2007.
- ASSILIAN, S., MAMDANI, E. Learning Control Algorithms in Real Dynamic Systems. Proc. 4th International IFAC/IFIP. **Conference on Digital Computer Applications to Process Control**, Zürich, March 1974.
- BACCARI JÚNIOR, F. Manejo ambiental para produção de leite em climas quentes. In Congresso Brasileiro de Bioclimatologia, 2º, 1998, **Anais...** Goiânia, 1998. p.136 – 161.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal.** Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 246p.
- BARUSELLI, M. S. **Manejo.** Disponível em <<http://www.inseminacaoartificial.com.br/index.htm>>. Acesso em 15 fev. 2006.
- BEDFORD, T.; WARNER, C. G. The globe thermometer in studies of heating and ventilation. **The Journal of Hygiene**, v. 34, n. 4, p. 544-549, 1934.
- BERMAN, A.; FOLMAN, Y.; KAIM, M.; MAMEN, M; HERZ, Z.; WOLFENSON, D.; ARIELI, A.; GRABER, Y. Upper critical temperature and forced ventilation effects of high yielding dairy cows in a tropical climate. **Journal of Dairy Science**, v.67, p. 488-495, 1985.
- BERMAN A. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. **Journal of Animal Science.** v.83, p. 1377-1384, 2005.
- BLACKSHAW, J. K. Heat-stress in cattle and the effect of shade on production and behavior. **Australian Journal of Experimental Agriculture.** v.34, n.2, p. 285-295, 1994.
- BOND, T. E.; KELLY, C. F. The globe thermometer in agricultural research. **Agricultural Engineering**, v. 36, n. 4, p.251-255, 1955.

- BRUNASSI, L. A., TOLON, Y. B., NÄÄS, I. A.. Identificação Automatizada de Estro e Controle de Gênero por Tempo de Inseminação. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2005, Canoas. **Anais**. v. 1. p. 1-5. 2005
- 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. **Anais**. v. 1. p. 25-29. 2006.
- BUFFINGTON, E. D.; COLLAZO- AROCHO, A.; CANTON, G.H. Black globe humidity comfort index for dairy cows. **American Society Agricultural Engineers**, St. Joseph, 19p. paper 77- 4517. 1977.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO- AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D., Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981.
- CAMARGO, L. S. A. **Identificação de Cio em Bovinos**. EMBRAPA Gado de Leite, 2000. Disponível em <<http://www.cnpqgl.embrapa.br/pastprod/textos/folha47.html>>. Acesso em 26 fev. 2006.
- CAMPOS, A. T. **Determinação dos índices de conforto e da carga térmica de radiação em quatro tipos de galpões em condições de verão para Viçosa-MG**. 66p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1986.
- CARDOSO, D. L. **Métodos de Detecção de Cio em Bovinos**. 63p. Monografia - Faculdade de Medicina Veterinária. Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2002.
- CARGILL, B. F.; STEWART, R. E. Effects of humidity on total heat and total vapor dissipation of Holstein cows. **Transactions of the ASAE**. St Joseph, MI, v.9, n.5, p. 702-708. 1966.
- CAVALIERI, J.; HEPWORTH, G.; EAGLES, V. E.; MACMILLAN, K. L. Comparison of two doses of oestradiol benzoate administered at a resynchronised oestrus on reproductive performance of dairy cows. **Aust. Vet. Journal**, n.81 p.348–354, 2003.
- CAVALIERI, J.; HEPWORTH, G.; FITZPATRICK, L. A. Comparison of two estrus synchronization and resynchronization treatments in lactating dairy cows. **Theriogenology**. n. 62, p. 729–747, 2004.

- CHEBEL, R. C.; SANTOS, J. E. P.; REYNOLDS, J. P.; CERRI, R. L. A.; JUCHEM, S. O.; OVERTON, M. Factors affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. **Animal Reproduction Science**. 2004.
- CHENAULT, J. R.; BOUCHER, J. F.; DAME, K. J.; MEYER, J. A.; WOOD-FOLLIS, S. L. Intravaginal progesterone insert to synchronize return to estrus of previously inseminated dairy cows. **Journal of Dairy Science**. n. 86, p.2039–2049, 2003.
- COELHO, E.; TIBIRIÇÁ, A. C. G.; BAÊTA, F. C.; TINÔCO, I. F. F. Avaliação de Condições Ambientais em Sistemas de Confinamento Intensivo para Produção de Leite. In: Encontro Nacional, 6º e Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 3º. **Caderno de Resumos...** São Pedro – SP, 2001.
- COLLIER, R.J.; DAHL, G.E.; VANBAALE, M.J. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.1244-1253, 2006.
- DAY, M. L., BURKE, C. R., TAUFA, V. K., DAY, A. M., MACMILLAN, K. L. The strategic use of estradiol to enhance fertility and submission rates of progestin-based estrus synchronization programs in seasonal dairy herds. **Journal Animal Science**. n. 78, p.523–529, 2000.
- De BELIE, N., ROMBAUT, E. Characterisation of claw-floor contact pressures for standing cattle and the dependency on concrete roughness. **Biosystems Engineering**. n.85, v.3, p.339-346, 2003.
- DISKIN, M.G.; AUSTIN, E.J.; ROCHE, J.F. Exogenous hormonal manipulation of ovarian activity in cattle. **Domestic Animal Endocrinology**. n.23, p.211–228, 2002.
- DOBSON, H.; SMITH, R. F. What is stress, and how does it affect reproduction? **Animal Reproduction Science**. n.60-61, p.743-752, 2000.
- DONÁT, P. Measuring Behaviour: The Tools and the Strategies. **Neuroscience e Biobehavioral Reviews**. v. 15, p. 447-454, 1991.
- 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 Veterinarian Research**. v. 57, p. 183-187, 1990.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Estatística do leite. Disponível em <<http://www.cnpqgl.embrapa.br/>>. Acesso em 21 nov. 2007.

- ERADUS, W. J.; SCHOLTEN, H.; UDINK TEN CATE, A. J. Oestrus detection in dairy cattle using a *fuzzy* inference system. **Application and Ergonomics in Agriculture**. v. 14, n.1, p.185-188, 1998.
- ESMAY, M. L., **Principles of animal environment**. 2 ed. Edgard Blücher. Westport: CT Abi, 1969. 325p.
- EUROPEAN COMMISSION. **The welfare of cattle kept for beef production**. Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare. p. 107-110, 2001.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/336/DesktopDefault.aspx?PageID=336>>. Acesso em 12 out. 2007.
- FAWC. FARM ANIMAL WELFARE COUNCIL. **FAWC Report on the Welfare Implications of Animal Breeding and Breeding Technologies in Commercial Agriculture**. 2004. Disponível em <<http://www.fawc.org.uk/pdf/breedingreport.pdf>>. Acesso em 15 nov. 2006.
- FIRK, C.A.; STAMER, E. J.; W.; KRIETER J. Automation of oestrus detection in dairy cows: a review. **Livestock Production Science**. n. 75, p 219-232, 2002.
- FIRK, R.; STAMER, E. J.; W., KRIETER, J. Improving oestrus detection by combination of activity measurements with information about previous oestrus cases. **Livestock Production Science**. n. 82. p.97-103, 2003.
- FONSECA, J. F.; BRUSCHI, J. H.; SANTOS, I. C. C.; VIANA, J. H. M.; MAGALHÃES, A. C. M. Induction of estrus in non-lactating dairy goats with different estrous synchrony protocols. **Animal Reproduction Science**. n.85, p.117–124, 2005.
- FORTES, G. Como Aproveitar Melhor a Informática na Pecuária. **Revista DBO**. p. 98–104. Out., 2004.
- FRANÇOIS, N.; MILLS, A. D.; FAURE, J. M. Place preferences of Japanese quail given a permanent choice between a social or a non-social but enriched situation. **Behavioural Processes**, v. 43, p. 163-170, 1998.
- FRASER, D. Animal ethics and animal welfare science: bridging the two cultures. **Applied Animal Behaviour Science**. v.65, p. 171-189. 1999.

- FRAZZI, E. CALAMARI, L., CALEGARI, F., MAIANTI, M. G., CAPPA, V. The aeration, with and without misting: Effects on heat stress in dairy cows. **Proceeding of the Fifth International Symposium**. Minnesota. p. 907-914, 1997.
- FRAZZI, E.; CALAMARI, L.; CALEGARI.; STEFANINI, L. **Behaviour of dairy cows with different cooling systems during the summer**. Fourth Internacional Dairy House Conference, St. Louis, Missouri, p. 224-231. 1998.
- FUQUAY, J. W. Heat stress and it affects animal production. **Livestock Environment**, v.2, p.1133-1137, 1997.
- GALINA, C. S.; MONTIEL, F.; MARTÍNEZ, L. E. Detección de Calores y Jerarquía Social. **Revista Cebú**. México, julio - agosto, p. 7-10. 1996.
- GIARRATANO, J.C., RILEY, G. **Expert Systems: Principles and Programing**. ITP, 2nd ed., USA, 1998.
- GRANT, R. J., ALBRIGHT, J. L. Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 73, p. 2791-2803, 1995.
- HAHN, G. L. Compensatory performance in livestock: influence on environmental criteria. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 2., St. Joseph, 1982. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE. p. 285-294. 1982.
- HAHN, G. L. Management and housing of farm animals in hot environment. In: YOUSEF, M. K. **Stress physiology in livestock**. Boca Raton: CRC PRESS. v.2, p.151-174, 1985.
- HAHN, G. L. **Bioclimatologia e instalações zootécnicas**. Trad. por Roberto Gomes da Silva. FUNEP – Jaboticabal - SP. 1993. 28p.
- HANSEN, P. J.; THATCHER, W. W.; EALY, A. D. Methods for reducing effects of heat stress in pregnancy. In: **Large Dairy Farm Management American Dairy Science Association**. Champaign. p. 116-125, 1992.
- HANSEN, P. J. Strategies for enhancing reproduction of lactating dairy cows exposed to heat stress. In: **Proceedings of the 16th Annual Convection American Embryo Transfer Association**, Madison. p. 6 – 72, 1997.
- HANSEN, D. **Vantagens e limitações da biotecnologias de reprodução animal**. Lagoa da Serra Ltda. 2003.
- HARDOIM, P. C. Instalações para bovino de leite. In: XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Poços de Caldas: **Livro de Textos**. p.149-208. 1998.

- HEAD, H. H. Management of dairy cattle in tropical and subtropical environments. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, **Anais**. Jaboticabal: SBBiomet. p.26-68. 1995.
- HORN, M. M.; GALINA, C. S.; MORAES, J. C. F. Padrões de distribuição e métodos de identificação de cios em vacas de corte submetidas a sincronização com progestagêneo/prostaglandina e monta natural. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**. v. 96, n. 539, p.145 – 148, 2001.
- HUBER, J. T. Alimentação de vacas de alta produção sob condições de estresse térmico. In: SIMPÓSIO SOBRE BOVINOCULTURA LEITEIRA. Piracicaba: FEALQ. p.33-48. 1990.
- HURNIK, J. F. Behaviour. In: PHILLIPS, C.; PIGGINS, D. (Ed.). Farm animals and the environment. Wallingford: **CAB International**. cap.13 p.235–244. 1992.
- IGONO, M. O.; BJTVEDT, G.; SANFORD – CRANE, H. T. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holsteins cows in desert climate. **Int. Journal Biometeor.** n.36, p.77-87. 1992.
- JOHNSON, H.D.; RAGSDALE, A.C.; BERRY, I.L.; SHANKLIN, M.D. **Temperature humidity effects including influence of acclimation in feed and water consumption of Holstein cattle**. Missouri Agricultural Experimental Station (Research Bulletin, 846), 1963.
- JOHNSON, H.D. Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic change. **International Journal of Biometeorology**. v.24, p.65-78, 1980.
- KADZERE, C.T.; MURPHY, M.R.; SILANIKOVE, N.; MALTZ, E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. **Livestock Production Science**. v.77, p.59-91. 2002.
- KARAGIANNIDIS, A. K. Excretion of MPA in the milk of lactating ewes treated for synchronization of estrus. **Theriogenology**. n. 43, p.605-613, 1995.
- KASTELIC, J. P. Computerized Heat Detection. **Advances in Dairy Technology**. Canada. v.13, p.393-402, 2001.
- KIDDY, C. A. Variation in physical activity as an indicator of estrus in dairy cows. **Journal Dairy Science**. v.60, p.235, 1977.
- KING, G.J.; HUMIK, J.F.; ROBERTSON, H.A. Ovarian activity and estrus in dairy cows during early lactation. **Journal Animal Science**. n.42, p.688-692. 1976.

- KING, G. J. Reproductive performance and problems. **Reproduction in Domesticated Animals**. Elsevier, Amsterdam.. p. 546 – 549. 1993.
- KURYKIN J.; JAAKMA U.; MAJAS L.; JALAKAS M.; AIDNIK M.; WALDMANN A.; PADRIK, P. Fixed time deep intracornual insemination of heifers at synchronized estrus. **Theriogenology**. n.60, p.1261–1268, 2003.
- LEAKE, D. **CBR in context: the present and future**. In: Case-Based Reasoning Experience, Lessons & Future Directions. Cambridge, AAAI Press, MIT Press, 1996.
- LEAN, I. J.; PORTER, J. A.; RABIEE, A. R.; MORGAN, W. F.; TRANTER, W. P.; MOSS, N.; et al. Comparison of effects of GnRH and prostaglandin in combination, and prostaglandin on conception rates and time to conception in dairy cows. **Aust. Vet. Journal**. n.81, p.488–493, 2003.
- LEE, C.C. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part II. **IEEE Transitions on Systems, Man and Cibernetics**. v.20, n.2, p.419-435, March/ April, 1990.
- LEE, L.G.L. Application of case-based reasoning to customer service. In: 3rd World Congress on Expert Systems. **Proceedings**. p.1143-1149, 1996.
- LEHRER, A. R.; LEWIS, G. S.; AIZINBUD, E. Oestrus detection in cattle: recent development. **Animal Reproduction Science**. v.28, p.355–361, 1992.
- LEITE, T. E. Eficiência Produtiva e Reprodutiva em Vacas Leiteiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol. 31, n. 3, maio, 2001.
- LUCY, M. C. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end? **Journal Dairy Science**. n. 84, p. 1277 - 1293. 2001.
- MAATJE, K.; LOEFFLER, S.H.; ENGEL,B. **Predicting optimal time of insemination in cows that show visual signs of estrus by estimating onset of estrus with pedometers**. Institute for Animal Science and Health. **Journal Dairy Science**. n.6, v.80, p.1098-1105. 1996
- MACHADO FILHO, P.F. Efeitos da alta temperatura sobre a produção, reprodução e sanidade de bovinos leiteiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE. Piracicaba, 1998. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, p.179 – 201. 1998.
- MALTZ, E.; EDAN, Y.; HALACHMI, I.; MORAG, I. **Decision Support Systems for the Dairy Farm**. Disponível em < <http://www.agri.gov.il/AGEN/Reports/DSS-Dairy.html>>. Acesso em 10 abril 2005.

- MAMDANI, E.H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a Fuzzy logic controller. **International Journal of Man-Machine Studies**, vol. 7, n. 1, p.1-13, 1975.
- MARCINKOWSKI, D. **Heat detection: Problems, Evaluation and Solutions**. 2004. Disponível em <<http://www.umaine.edu/livestock/publications/heatdet.htm>>. Acesso em 15 fev. 2006.
- MARTELLO, L. S. **Interação animal-ambiente: efeito do ambiente climático sobre as respostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas em free-stall**. 111p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo, Pirassununga - SP. 2006.
- MATARAZZO, S. V.; PERISSINOTTO, M.; SILVA, I. J. O.; MOURA, D. J.; SEVEGNANI, K. B. Water intake and behavior of dairy cows in response to environmental conditions (Compact disc). In: 5 INTERNATIONAL DAIRY HOUSING CONFERENCE. Fort Worth, 2003. **Proceedings**. Fort Worth: ASAE, 2003.
- MATARAZZO, S. V. **Eficiência do Sistema de Resfriamento Adiabático Evaporativo em Confinamento do Tipo Freestall para Vacas em Lactação**. 143p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2004.
- MATLAB R2006a®. The Mathworks Inc. 2006. 03 Apple Hill Drive. Natick, MA 01760-2098. Disponível em <<http://www.mathworks.com>> Acesso em 13 jun. 2006.
- McDOWELL, R. E. **Bases biológicas de la producción animal en zonas tropicales**. Zaragoza: Acribia, 1975. 692p.
- McMANUS, C.; GUTH, T. L. F.; SAUERESSIG, M. G.; FREITAS, A. F.; NOVAES, L. P.; DURÃES, M. C. Fatores que Influenciam no Desempenho reprodutivo de Gado Holandês Preto e Branco em Confinamento Total no DF. In: Semana de Iniciação Científica, 9, 2003, Brasília. **Caderno de Resumos...** Universidade de Brasília. p. 9-11, 2003.
- MELE, M. Application of the 'tracking signal' method to the monitoring of udder health and oestrus in dairy cows. **Livestock Production Science**. n.72 v.3. p.279-284. 2001.
- MOBERG, G.P. A model for assessing the impact of behavioral stress on domestic animals. **Journal Animal Science**. n.65, p.1228-1235. 1987.
- MOL, R. M.; WOLDT, W. E. Application of *Fuzzy* Logic in Automated Cow Status Monitoring. **Journal of Dairy Science**. n.84, p.400-410, 2001.

- MOLLO NETO, M. **Desenvolvimento de um sistema computacional para diagnóstico preventivo de patologia de casco em bovinos de leite.** 149p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2007.
- MORAES, S. R. P. **Conforto térmico em modelos reduzidos de galpões avícolas, para diferentes coberturas, durante o Verão.** 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1999.
- MORAG, I.; EDAN, Y.; MALTZ, E. An Individual Feed Allocation Decision Support System for the Dairy Farm. **Journal Agriculture Engineering Research.** 2001. n.79, v.2, p.167-176.
- MOREIRA, F.; ORLANDI, C.; RISCO, C. A.; MATTOS, R.; LOPES, F.; THATCHER, W. W. Effects of presynchronization and bovine somatotropin on pregnancy rates to a timed artificial insemination protocol in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science.** n.84, 1646–1659, 2001.
- MOURA, D. J. Ventilação na suinocultura. In: AMBIÊNCIA E QUALIDADE NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS. Piracicaba, 1999. **Anais.** Piracicaba: FEALQ, 1999. p.149-179. 1999.
- MOURA, D. J.; NÄÄS, I. A.; QUEIROZ, M. P. G. Estimating thermal comfort and solar orientation in broiler housing using Fuzzy Logic. In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENHARIA AGRÍCOLA, 6., 2004, San José, Costa Rica. Memória... San José: Asociación Costaricense de Ingenieros Agrícolas, 2004. 1 CD-ROM.
- MÜLLER, P. B. **Bioclimatologia Aplicada aos Animais Domésticos.** Porto Alegre: Sulina, 1982. 158p.
- NÄÄS, I. A. Efeito do ambiente na eficiência de produção de pequenos ruminantes. **Ecossistema.**, 1986, v.11, . p.5-13.
- NÄÄS, I. A. **Princípios de conforto térmico na produção animal.** São Paulo: Ícone, 183p., 1989.
- NÄÄS, I. A. Tipologia de instalações em clima quente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, Piracicaba, 1998. **Anais.** Piracicaba: FEALQ, p.146-155. 1998.

- NÄÄS, I. A., SOUZA, S. R. L. Desafios para a produção de leite nos trópicos – conforto térmico. In: ZOOTEC, Uberaba, 2003. **Anais**. Uberaba: FAZU, p. 64-74. 2003.
- NICOLAU, N. M. O problema do leite é o preço. Folha de São Paulo: Agrofolha, São Paulo, p.4, 24 mar. 1998.
- NIENABER, J.A.; HAHN, G. L.; EIGENBERG, R.A. Engineering and Management Practices to Ameliorate Livestock Heat Stress. In: International Symposium of the CIGR - New Trends in Farm Buildings, 2nd Technical Section. Book of abstracts. CD-ROM... Congresso Évora, Portugal. May 02 – 06/2004.
- NOBEL, R. L.; JOBST, S. M.; DRANSFIELD, M. B. G.; PANDOLF, S. M.; BALLEY, T. L. Use of radio frequency data communication system. **Journal of Dairy Science**. 1997, p. 179.
- NOLDUS, L. P. J. J. The Observer: A software system for collection and analysis of observational data. **Behavior Research Methods, Instruments, e Computers**, n.23,p.415-429, 1991.
- NOLDUS, L. P. J. J., TRIENES, R. J. H., HENDRIKSEN, A. H. M., JANSEN, H., e JANSEN, R. G. The Observer Video-Pro: New software for the collection, management, and presentation of time-structured data from videotapes and digital media files. **Behavior Research Methods, Instruments, e Computers**, n.32, p.197-206, 2000.
- OLIVEIRA, H. L.; AMENDOLA, M.; NÄÄS, I. A. Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos *Fuzzy*. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. Ago 2005, v. 25, n. 2, p.300-307. 2005.
- PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; GUISELINI, C.; PIEDADE, S. M. S. Uso da lógica *fuzzy* na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. Jan./abr. 2007, v.27, n.1, p.83-92, 2007.
- PEIXOTO, J. E. **Aspectos comportamentais de Perdiz (*Rhynchotus rufescens*) em cativeiro durante a fase reprodutiva: um estudo de caso**. 100p. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal). Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga-SP. 2002.
- PENSA, Centro de Conhecimento em Agronegócios. **Tomografia da Cadeia do Leite São Paulo**. São Paulo Disponível em <http://www.pensa.org.br/workshop/leite/4_nas_fazendas.pdf>. Acesso em 14 mai. 2007.

- PERISSINOTTO, M. **Avaliação da eficiência produtiva e energética de sistemas de climatização em galpões tipo “freestall” para confinamento de gado leiteiro.** 122p. Dissertação (mestrado em Física do Ambiente Agrícola). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP. 2003.
- PINEDA, N. A pesquisa Mostra o Caminho de Precocidade no Gado Zebu. **Informativo ABCZ**, Uberaba - MG, Agosto 2001, n. 149.
- PIRES, M. F. A.; VILELA, D.; VERNEQUE, R. S.; TEODORO, R. L. Reflexos do estresse térmico no comportamento das vacas em lactação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE. Piracicaba, 1998. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, p.68 – 102. 1998.
- PIRES, M. F. A., TEODORO, R. L., CAMPOS, A.T. Efeitos do estresse térmico sobre a produção de bovinos. In: Congresso Nordestino de Produção de Produção Animal, Teresina, 2000. **Anais**. Teresina: SNPA, p. 87-104, 2000.
- PRYCE, J. E.; ROYAL, M. D.; GARNSWORTHY, P. C.; MAO, I. L. Fertility in the high-producing dairy cow. **Livestock Production Science**. n.86, p.125–135, 2004.
- PURUCKER, S.; WENDL G.; SCHÖN, H. **Veränderung des Tierund Melkverhaltens beim automatischen Melken im Laktationsverlauf.** 5^o Internationale Tagung, Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Hohenheim. Tagungsband, p.242-246, 2001
- PUTNEY, D. J.; THATCHER, W. W.; DROST, M. Embryonic of summer heat stress on pregnancy rates of lactating dairy cattle following embryo transfer or artificial insemination. **Theriogenology**. n.31, p.765. 1989.
- REDDEN, K.D.; KENNEDY, A.D.; INGALLS, J.R.; GILSON, T.L. Detection of estrus by radiotelemetric monitoring of vaginal and ear skin temperature and pedometer measurements of activity. **Journal of Animal Science**. n. 76, v. 3, p. 713-721. 1993.
- RENSIS, F.; SCARAMUZZI, R. J. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow – a review. **Theriogenology**, n.60, p.1139-1151. 2003.
- RIVERO, R. O. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural.** 2. Ed. Porto Alegre: D. C. Luzzato, 1986. 240p.

- RODTIAN, P.; KING G.; SUBROD, S.; PONGPIACHAN, P. Oestrous behaviour of Holstein cows during cooler and hotter tropical seasons. **Animal Reproduction Science**. n.45, p.47-58. 1996.
- RORIE, R. W.; BILBY, T. R.; LESTER, T. D. Application of electronic estrus detection technologies to reproductive management of cattle. **Theriogenology**, n. 57, p. 137-148. 2002.
- ROSENBERG, L. J.; BIAD, B. L.; VERNIS, S. B. **Human and animal biometeorology**. In: microclimate – the biological environment. 2 ed. New York: Wiley-Interscience. p.425-567, 1983.
- RYAN, D. P.; J. GALVIN, A.; O'FARRELL, K. J. Comparison of oestrous synchronization regimens for lactating dairy cows. **Animal Reproduction Science**. n.56, p.153–168, 1999.
- SANTOS, R. C. **Conforto térmico no inverno em modelos reduzidos de galpões para produção de aves e suínos em função do pé-direito e tipo de cobertura**. 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2001.
- SANTOS, J. E. P.; THATCHER, W. W.; CHEBEL, R. C.; CERRI, R. L. A.; GALVÃO, K. N. The effect of embryonic death rates in cattle on the efficacy of estrus synchronization programs. **Animal Reproduction Science**. 2004.
- SANTOS, R. C.; NÄÄS, I. A.; YANAGI Jr., T.; FERREIRA, L. Estimativa de estro em vacas criadas em confinamento em função de variáveis climáticas. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. João Pessoa - PB, 2006. **CD Room...** 2006.
- SARIEGO, J.C.L. O que é Etologia? Disponível em <http://paginas.terra.com.br/educacao/sariego/o_estudo_do_comportamento.htm>. Acesso em 10 ago. 2007.
- SCHMISSEUR, E. **Validation Expert Systems**. ACAA - Advanced Computer Applications In Animal Agriculture, Dallas, Texas, USA, February 26-28, 1992.
- SENGER, P. L. The estrus detection problem: new concepts, technologies, and possibilities. **Journal Dairy Science**. v.77, p.2745–2753, 1994.

- SHAHAM-ALBALANCY, A.; NYSKA, A.; KAIM, M.; ROSENBERG, M.; FOLMAN, Y.; WOLFENSON, D. Delayed effect of progesterone on endometrial morphology in dairy cows. **Animal Reproduction Science**. n.48, p. 159–174, 1997.
- SILVA, R.G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286p.
- SILVA, I. J. O.; PANDORFI, H.; ACARARO Jr., I.; PIEDADE, S. M. S.; MOURA, D. J. Efeitos da Climatização do Curral de Espera na Produção de Leite de Vacas Holandesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.31, n.5, p.2036-2042. 2002.
- SOUZA, S. R. L. **Aplicação de técnicas automatizadas na avaliação do comportamento de vacas leiteiras em sistema de confinamento**. 105p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2006.
- SWANSON. J. C. Farm Animal Well-being and Intensive Production Systems. **Journal Animal Science**. v. 73, p.2744-2751. 60 ref. 1995.
- TITTO, E. A. L. Clima: Influência na produção de Leite. In: Anais do I Simpósio Brasileiro de Ambiência na Produção de Leite. **Anais...** Piracicaba, ESALQ-FEALQ, 1998, p.10-23.
- TURBAN, E., ARONSON, J.E. **Decision Support systems and intelligent systems**. 6 ed. Hong Kong: Prentice International Hall, 2001.
- TURNER, L. W.; CHASTAIN, J. P.; HEMKEN, R. W.; GATES, R. S.; CRIST, W.L. Reducing heat stress in dairy cows through sprinkler and fan cooling. **Applied Engineering in Agriculture**. v.8, n. 3, p. 375-379, 1992.
- VAN BORELL, E. Neuroendocrine integration of stress and significance of stress for the performance of farm animals. **Applied Animal Behaviour Science** . v.44, p.219-227, 1995.
- VANZIN, I. M. **Inseminação Artificial e Manejo Reprodutivo de Bovinos**. Disponível em <<http://www.inseminacaoartificial.com.br>>. Acesso em 12 out. 2006
- VERBECK, R.; SMITH, J. F.; ARMSTRONG, D. V. Heat stress in dairy cattle. **Management of Dairy Cattle in Hot and Humid Weather**. Protiva. Saint Loius. p. 1-12. 1995.
- VERWOERD, W.; WELLBY, M.; BARRELL, G. Absence of a causal relationship between environmental and body temperature in dairy cows (*Bos taurus*) under moderate climatic conditions. **Journal of Thermal Biology**. n. 31, p. 533–540, 2006.

- VIÑALES, C.; FORSBERG, M.; BANCHERO, G.; RUBIANES, E. Effect of long-term and short-term progestagen treatment on follicular development and pregnancy rate in cyclic ewes. **Theriogenology**. n. 55, p.993–1004, 2001.
- WALDMANN, A.; KURYKIN, J.; JAAKMA, Ü.; KAART, T.; AIDNIK, M.; JALAKAS, M.; MAJAS, L.; PADRIK, P. The effects of ovarian function on estrus synchronization with PGF in dairy cows. **Theriogenology**. n.66, p. 1364–1374, 2006.
- WEST, J. W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.2131-2144, 2003.
- WOLFENSON, D.; ROTH, Z.; MEIDAN, R. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. **Animal Reproduction Science**. n.60-61, v.2, p. 535-547, 2000.
- 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.A. Outline of a New Approach to the analysis of Complex Systems and Decision Processes. IEEE. **Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-3**, n.1, p.28-44. January, 1973.

ANEXOS

Anexo 1 – Glossário de termos técnicos e legendas

TERMOS TÉCNICOS

- **Ambiência** – Ciência que estuda a inter-relação existente entre o animal e o ambiente de exposição, de forma a identificar as condições de máximo conforto, para que estes possam expressar todo seu potencial genético produtivo
- **Cio** – Período de desejo sexual intenso dos animais. (Sinônimo de estro)
- **Estro** – Desejo sexual. (Sinônimo de cio)
- **Homeostase** - Tendência à estabilidade do meio interno do organismo diante das variações externas.
- **Prenhez** - Estado de fêmea prenhe; gravidez
- **Sistema Especialista** – Sistemas de suporte à tomada de decisão com a inclusão do conhecimento de um especialista que tem a tarefa de desenvolver escalas de confiabilidade dos dados utilizados no programa, indicando assim, o grau de segurança das respostas.

LEGENDAS

ITU – Índice de temperatura e umidade

ITGU – Índice de temperatura de globo negro e umidade

CTR – Carga térmica de radiação

UR – Umidade relativa do ar

PAUC – Período após o último cio

NCO – Número de comportamentos de cio observados

TDC – Taxa de detecção de cio

TC – Taxa de concepção

TP – Taxa de prenhez

IATF – Inseminação artificial por tempo fixo

CIDR – Controlled Internal Drug Release

Anexo 2 – Detalhamento da alimentação fornecida aos animais

Fabricante: Nutron Alimentos Ltda;

- Composição:
 - Pré-secado alfafa;
 - Soja Integral tostada;
 - Milho grão úmido (volume reduzido);
 - Milho grão seco (volume aumentado);
 - Caroço de algodão (Máx: 1,3kg/vaca/dia);
 - MEGALAC / 545CP – Vitamina Bovino Lactação (20kg/ton);
 - Vitaminas A, D3 e E;
 - Microminerais (Zn, Mn, Fe, Cu, L, Co, Se).
- Adsorventes:
 - Aflatoxina: Adsorb Afla: 30g/vaca/dia;
 - Fusarium: Zeotek: 10 g/vaca/dia;
 - Availa-4 (minerais Orgânicos) => Zn, Mn, Cu + Co: 7 g/vaca/dia;
 - Monesina sódica: 300 mg/vaca/dia;
 - Levecell (levedura viva): 0,5 g/vaca/dia;
 - Biotina: 20 mg/vaca/dia.

Dados da composição nutricional da ração fornecida ao plantel

Ingrediente:	Proporção definitiva: (%)
Farelo de soja 46%	36,00
Milho moído fino	33,33
Soja integral tostada	20,00
Vitamin Bovino Lactação Campestre – 545 CP	2,00
Sal branco	1,33
Calcáreo	1,74
Fosfato bicálcico	1,60
Bicarbonato de sódio	3,33
Óxido de magnésio	0,67
Total:	100 (%)

Anexo 3 – Caracterização reprodutiva das vacas

Protocolo IATF de sincronização adotado na fazenda Campestre:

Passado o período de descanso, 45 dias pós-parto, as vacas do lote experimental entraram novamente na estação reprodutiva, onde receberam 2ml de benzoato de estradiol (Estrogin), juntamente com implante intravaginal de progesterona (CIDER).

No 8º dia o implante CIDER foi retirado e a vaca recebeu aplicação de 2ml de cloprostenol (Ciosin) e 1,5ml de gonadotrofina (Novormon).

No 9º dia as vacas receberam novamente mais 1ml de benzoato de estradiol (Estrogin).

A inseminação de todos animais foi realizada no 10º dia.

Planilhas para caracterização reprodutiva das vacas:

ANIMAL 1	
IDADE (anos)	8
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	27
DOENÇAS (últimos 3 meses)	mastite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	24
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	SIM
Observações: prenhez positiva na terceira tentativa	

ANIMAL 2	
IDADE (anos)	5
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	30
DOENÇAS (últimos 3 meses)	mastite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	NÃO
Observações:	

ANIMAL 3	
IDADE (anos)	4
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	27
DOENÇAS (últimos 3 meses)	metrite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	20
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	SIM
Observações: prenhez positiva na quinta tentativa	

ANIMAL 4	
IDADE (anos)	3
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	27
DOENÇAS (últimos 3 meses)	--
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	NÃO
Observações:	

ANIMAL 5	
IDADE (anos)	8
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	25
DOENÇAS (últimos 3 meses)	metrite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	24
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	SIM
Observações: prenhez positiva na sexta tentativa	

ANIMAL 6	
IDADE (anos)	3
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	27
DOENÇAS (últimos 3 meses)	mastite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	24
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	NÃO
Observações:	

ANIMAL 7	
IDADE (anos)	5
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	25
DOENÇAS (últimos 3 meses)	--
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	SIM
Observações: prenhez positiva na segunda tentativa	

ANIMAL 8	
IDADE (anos)	5
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	27
DOENÇAS (últimos 3 meses)	mastite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	NÃO
Observações:	

ANIMAL 9	
IDADE (anos)	8
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	27
DOENÇAS (últimos 3 meses)	mastite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	SIM
Observações: prenhez positiva na segunda tentativa	

ANIMAL 10	
IDADE (anos)	7
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	30
DOENÇAS (últimos 3 meses)	mastite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	SIM
Observações: prenhez positiva na terceira tentativa	

ANIMAL 11	
IDADE (anos)	8
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	30
DOENÇAS (últimos 3 meses)	metrite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	NÃO
Observações:	

ANIMAL 12	
IDADE (anos)	5
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	25
DOENÇAS (últimos 3 meses)	metrite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	24
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	SIM
Observações: prenhez positiva na quarta tentativa	

ANIMAL 13	
IDADE (anos)	3
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	27
DOENÇAS (últimos 3 meses)	metrite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	SIM
Observações: prenhez positiva na quarta tentativa	

ANIMAL 14	
IDADE (anos)	5
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	25
DOENÇAS (últimos 3 meses)	mastite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	NÃO
Observações:	

ANIMAL 15	
IDADE (anos)	6
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	27
DOENÇAS (últimos 3 meses)	mastite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	NÃO
Observações:	

ANIMAL 16	
IDADE (anos)	7
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	27
DOENÇAS (últimos 3 meses)	metrite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	24
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	SIM
Observações: prenhez positiva na quarta tentativa	

ANIMAL 17	
IDADE (anos)	4
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	27
DOENÇAS (últimos 3 meses)	--
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	NÃO
Observações:	

ANIMAL 18	
IDADE (anos)	4
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	27
DOENÇAS (últimos 3 meses)	mastite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	NÃO
Observações:	

ANIMAL 19	
IDADE (anos)	7
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	25
DOENÇAS (últimos 3 meses)	mastite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	SIM
Observações: prenhez positiva na terceira tentativa	

ANIMAL 20	
IDADE (anos)	5
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA (kg)	30
DOENÇAS (últimos 3 meses)	mastite
INTERVALO ENTRE OS 2 ÚLTIMOS CIOS (dias)	21
EXISTIU CIO VAZIO ENTRE AS DUAS ÚLTIMAS INSEMINAÇÕES ?	NÃO
Observações:	

Anexo 4 - Caracterização climática da fazenda Campestre

MÊS	R.GLOBAL (cal/cm.d)	PRECIPITAÇÃO (mm)	UR (%)	TEMPER. MÁX. (°C)	TEMPER. MÍN. (°C)	TEMPER. MÉDIA (°C)
DEZ	489	251,7	89	30,1	19,8	25,0
JAN	374	267,0	92	29,3	20,1	24,7
FEV	505	241,9	85	31,6	19,3	25,5
MAR	471	80,5	92	32,5	19,0	25,8
ABR	388	36,8	93	30,1	17,7	23,9