

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA *FUZZY* PARA DETECÇÃO DE
ESTRO EM REBANHOS LEITEIROS**

LEANDRO DOS ANJOS BRUNASSI

CAMPINAS
MARÇO, 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA *FUZZY* PARA DETECÇÃO DE
ESTRO EM REBANHOS LEITEIROS**

Dissertação de Mestrado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola, na área de
concentração em Ambiência

LEANDRO DOS ANJOS BRUNASSI

Orientadora: Prof. Dra. Daniella Jorge de Moura

CAMPINAS

MARÇO, 2008

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

B835d Brunassi, Leandro dos Anjos
Desenvolvimento de um sistema fuzzy para detecção
de estro em rebanhos leiteiros / Leandro dos Anjos
Brunassi. --Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Daniella Jorge de Moura.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Sistemas difusos. 2. Bovinos de leite. 3.
Automação. I. Moura, Daniella Jorge de. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Development of a fuzzy system for estrous detection.

Palavras-chave em Inglês: Heat detection, Fuzzy logic, Dairy cows.

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiência.

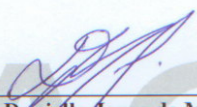
Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola.

Banca examinadora: Luiz Henrique Antunes Rodrigues e Maria da Graça
Pinheiro.

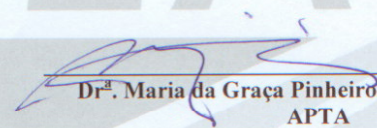
Data da defesa: 21/02/2008

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

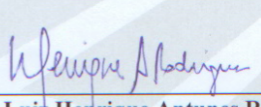
Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Leandro dos Anjos Brunassi**, aprovada pela Comissão Julgadora em 21 de fevereiro de 2008, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



Prof.^a. Dr.^a. Daniella Jorge de Moura
FEAGRI/UNICAMP



Dr.^a. Maria da Graça Pinheiro - Membro Titular
APTA



Prof. Dr. Luiz Henrique Antunes Rodrigues - Membro Titular
FEAGRI/UNICAMP

Faculdade de
Engenharia Agrícola
Unicamp

*Dedico não somente este Trabalho, mas tudo o que sou ao
Deus que se fez carne e viveu entre nós*

(Fl 2: 6-7)

*“O coração do sábio adquire o conhecimento,
e o ouvido dos sábios procura o saber.”*

PV 18:15

AGRADECIMENTOS

À Prof. Dr. Daniella Jorge de Moura, pela dedicação e participação essencial para o desenvolvimento desse projeto, além de sua amizade, meu sincero agradecimento.

À CAPES e FAPESP, pelo apoio financeiro.

À todo o grupo de Ambiência e Zootecnia de Precisão na Produção Animal da UNICAMP.

Também a todos os meus familiares e amigos, sem eles este trabalho não existiria.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XIV
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. ESTRO.....	4
2.2. IMPORTÂNCIA DA REPRODUÇÃO NA PRODUÇÃO LEITEIRA	13
2.3. SINAIS INDICADORES DE CIO E RESULTADOS DE OUTROS SISTEMAS DE DETECÇÃO NA LITERATURA	14
2.4. EFEITO DO CLIMA TROPICAL SOBRE O CIO	20
2.5. FORMAS DE DETECÇÃO DE CIO	23
2.6. DETECÇÃO AUTOMATIZADA DE CIO	26
2.7. SISTEMAS <i>FUZZY</i>	28
2.8. MEDIDAS DE AVALIAÇÃO DE CLASSIFICADORES (SISTEMA <i>FUZZY</i>).....	32
3. MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA <i>FUZZY</i>	42
3.2. FASE 1: AQUISIÇÃO (EXTRAÇÃO) DE CONHECIMENTO	43
3.3. FASE 2: DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA <i>FUZZY</i>	47
3.4. COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS UTILIZADOS.....	47
3.3. FASE 3: VALIDAÇÃO DO SISTEMA EM CAMPO.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
4.1. FASE 1: AQUISIÇÃO (EXTRAÇÃO) DE CONHECIMENTO	58
4.2. FASE 2: DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA <i>FUZZY</i>	62
4.3. FASE 3: VALIDAÇÃO DO SISTEMA <i>FUZZY</i> EM CAMPO.....	74
5. CONCLUSÃO	79
APÊNDICE A	82
A.1. TEORIA DOS CONJUNTOS <i>FUZZY</i>	82
APÊNDICE B	93
QUESTIONÁRIO	93
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Tabela de Contingência.	35
Tabela 2.2. Exemplo de cálculo do aumento na movimentação média do dia 9. O aumento (ou incremento) encontrado neste dia foi de 186% em relação aos outros dias.	51
Tabela 3.1. Potencial de coleta de dados na fazenda no período experimental (15 Janeiro a 15 de Agosto de 2007)	54
Tabela 3.2. Amostra dos quase 25000 dados das 103 vacas do experimento e exemplo de resultados do sistema fuzzy.	55
Tabela 4.1. Dados Climáticos coletados dentro dos galpões da fazenda obtida em 2007.....	58
Tabela 4.2. 24 Regras definidas para a interferência fuzzy para a atividade e o período desde o último cio.	67
Tabela 4.3. Tabela de contingência dos resultados do sistema fuzzy para os 24664 possíveis casos de cios entre os meses de Janeiro a Agosto de 2007.....	74
Tabela 4.4. Resultados de Eficiência para o teste do sistema.....	75
Tabela 4.5. Casos de cios não constantes nos registros da fazenda mais detectados pelo sistema fuzzy.	77
Tabela B.1. Questionário para obtenção de conhecimento dos especialistas na detecção prática de cio.	93

Lista de figuras

Figura 2.1. Órgãos reprodutivos de vacas. (FONTE: adaptado de CNPGL/EMBRAPA,2006).....	6
Figura 2.2. A. Ovário de uma vaca com folículo prestes a ovular. B. Mesmo ovário com o CL totalmente desenvolvido. (FONTE HAFEZ;HAFEZ, 2006).....	7
Figura. 2.3 . Interações Hormonais durante ciclos estrais de bovinos. (adaptado de CNPGL/EMBRAPA, 2006)	9
Figura.2.4 A. Folículo de Graaf. B. Transformações ovarianas devido ao crescimento folicular. C.Extrusão ovulatória do cumulus. (FONTE: HAFEZ; HAFEZ, 2004)	12
Figura 2.5. Probabilidade de concepção após inseminação a diferentes tempos após início do cio. Os círculos indicam o número de observações feitas (FONTE: MAATJE et al., 1997)..	14
Figura 2.6. Atividade de monta. A vaca que aceita ser montada por outra geralmente está no cio.	15
Figura 2.7. Atividade relativa para um período de 2hs e o tempo indicado para inseminação.(FONTE MAATJE et al. 1997)	17
Figura 2.8 Estrutura de um sistema baseado em conhecimento.	30
Figura 2.9. Representação esquemática do diagrama de inferência utilizando 2 regras, 2 dados de entrada e 1 saída.....	31
Figura 2.10. Ilustração do resultado de diagnóstico de confirmação de cio feito	

por um sistema numa população de vacas no cio ou sem cio.....	35
Figura 2.11. Ilustração de uma curva ROC.	38
Figura 2.12. Ilustração do resultado do sistema fuzzy	39
Figura 2.13. Gráfico ilustrando a área sob a curva ROC.....	40
Figura 3.1 Estrutura geral do sistema fuzzy de detecção automática de cio.	42
Figura 3.2 Estrutura geral do sistema fuzzy de detecção automática de cio.	46
Figura 3.3. Foto do momento de leitura do pedômetro. Antena situada no piso na porta de entrada da Ordenha (Fazenda Campestre, 2006).....	48
Figura 3.4. Implante CIDR para prática da IATF.....	52
Figura 3.5. Ilustração sobre como os casos de cio eram confirmados.....	53
Figura 3.6. Foto do Carrossel da fazenda. Ordenha simultânea de 18 vacas. (Fazenda Campestre, 2005).....	56
Figura 4.1. Diagrama das diferenças nas médias de movimentação (dias quentes menos os dias frios para as 95 vacas estudadas	59
Figura 4.2. Diagrama de frequência de atividade para a vaca número 1077.....	60
Figura 4.3. Intervalo entre cios para as 108 vacas analisadas	61
Figura 4.4. Estrutura de interação das variáveis no MATLAB®.	63
Figura 4.5. Representação gráfica das variáveis lingüísticas sobre a Movimentação.	64
Figura 4.6. Representação gráfica das variáveis lingüísticas para o período desde último cio.....	65

Figura 4.7. Representação gráfica do números fuzzy “induzido” para os casos onde há indução de hormônio com prostaglandina.	66
Figura 4.8. Superfície de interação de regras.	68
Figura 4.9. As três respostas fuzzy do sistema.	69
Figura 4.10. Curva ROC do sistema fuzzy.	70
Figura 4.11. Área sob a Curva ROC do sistema fuzzy: alta eficiência.	71
Figura 4.12. Escolha dos pontos de corte para efeitos de tomada automática de decisão.	73
Figura A.1 $F(x)$ Intervalo numérico de níveis infinitos. (FONTE: KLIR; YUAN, 1995)	84
Figura A.2 Função de pertinência triangular (FONTE: adaptado de JAMSHIDI; VADIEE; ROSS, 1993).....	86
Figura A.3 Função de pertinência triangular central. (FONTE: adaptado de JAMSHIDI; VADIEE; ROSS, 1993).....	87
Figura A.4 Função de pertinência triangular central (FONTE: adaptado de JAMSHIDI; VADIEE; ROSS, 1993).....	88
Figura A.5 Soma dos números fuzzy A e B (FONTE: KLIR; YUAN, 1995).....	89
Figura A.6 Função de pertinência do conjunto de homens obesos com 1,70m de altura (FONTE: adaptado de ZADEH, 1965).....	91
Figura A.7 Descrição fuzzy de homens com 1,70m de altura considerados obesos. (FONTE: adaptado de ZADEH, 1965)	92

RESUMO

Ao longo do tempo, a detecção de cios em rebanhos leiteiros tem sido uma penosa tarefa de observação visual, prejudicando a fertilidade do rebanho e produção de leite. A principal dificuldade na utilização deste método de detecção deve-se ao curto período em que as vacas ficam sob observação, que é geralmente realizada durante a ordenha e o manejo de arraçamento. Como resultado, perde-se a detecção da ocorrência de muitos cios, prejudicando o manejo reprodutivo do rebanho. Com o avanço da tecnologia da informação no monitoramento de vacas leiteiras, hoje é possível o uso de sistemas automáticos que aumentam a taxa de cios identificados para até 90%. Entretanto, estes sistemas automáticos ainda não estão bem difundidos no mercado brasileiro, devido a falta de modelos válidos capazes de interpretar os dados coletados pelos sensores instalados nas vacas. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um sistema baseado em lógica *fuzzy*, capaz de identificar eficientemente o estado de cio em vacas leiteiras da raça Holandesa, tornando os sistemas automáticos mais confiáveis ao produtor de leite. Para melhorar o desempenho do sistema utilizou-se a curva ROC. Três etapas descrevem a metodologia: na primeira está a aquisição de dados referentes à manifestação de cio de uma vaca por meio de consulta a especialistas e a literatura e através da análise de dados de campo; na segunda etapa o desenvolvimento do sistema *fuzzy* que apresentará como resposta três tipos de alertas: um informando se a vaca “está no cio”, outro se “não está no cio” e ainda outro “talvez está no cio”; e finalmente na terceira etapa a validação do sistema em uma fazenda comercial. O sistema *fuzzy* desenvolvido foi avaliado com o acompanhamento de um rebanho com 350 vacas em lactação por seis meses. Foram quase 25 mil possíveis casos de cios analisados. Os resultados mostraram que se a fazenda tivesse utilizado somente o sistema *fuzzy*, sem a identificação visual, ela teria identificado 84,2% de todos os casos de cios das vacas do rebanho devidamente equipadas com pedômetros. Esta porcentagem de 84,2% (sensibilidade do sistema) foi calculada em relação aos dados de ocorrência de cio disponíveis no banco de dados da fazenda, cios estes visualmente identificados. Espera-se que o sistema *fuzzy* desenvolvido venha a ser incorporado em um sistema automático de detecção de cio, se tornando uma ferramenta valiosa para otimizar a eficiência na tomada de decisões incrementando a taxa reprodutiva dos rebanhos e por consequência aumentando a produtividade de leite nacional.

PALAVRAS CHAVES: Bovinocultura Leiteira, Detecção Automática de Cio; Lógica *Fuzzy*

ABSTRACT

Production losses due to lack of precision in detecting estrus in dairy cows are well known and reported in milk production countries. As a result of technical progress in monitoring dairy cows using fuzzy logic automatic estrous detection has become possible by allowing the estimation of the moment of the estrous onset with minimum error. The objective of this work was to develop a fuzzy logic system combined with ROC which was able to efficiently detect estrous in dairy cows. For the input data, the system combines previous estrous cases information and prostaglandin application with activity measurements data. ROC curves will be used in order to make appropriate adjustments. The system outputs so-called alerts were categorized in three types: ‘in estrous’, ‘maybe in estrous’ and ‘not in estrous’. The system’s validation was carried out in a commercial dairy farm located at São Paulo, Brazil, with a herd of 350 lactating cows. The performance of the test was measured by calculating its sensibility (estrous correctly detected) and specificity (non estrous detected as estrous). Within six month trial, over 25 thousands cases of estrus were analyzed from the herd database collected during the year of 2007. The sensibility found was 84.2% indicating that the developed system was able to detect estrous efficiently and it improves automatic estrous detection.

KEYWORDS: Heat Detection, *Fuzzy* Logic, Dairy Cows.

1. INTRODUÇÃO

Com uma produção média de 1.154 litros de leite por vaca/ano, o Brasil encontra-se mundialmente classificado como 16º colocado em índice de produtividade (litros por vaca/ano). Como o Brasil é o 7º maior produtor mundial de leite, nota-se claramente a necessidade de melhorias nos índices de produção leiteira brasileira (EMBRAPA, 2006).

Nos rebanhos leiteiros onde as vacas são fecundadas por inseminação artificial, o fator limitante na obtenção de um manejo reprodutivo eficiente é a falha na detecção das manifestações de cio.

Estudos recentes mostram que a ineficiência na detecção de cio resulta para os Estados Unidos em uma perda anual de 800 milhões para a indústria leiteira. Na maioria dos rebanhos nos EUA, a taxa de detecção de cio esperada para grandes propriedades produtoras de leite é de menos de 50%, sendo em grande maioria realizada por simples observação visual. No Brasil, a maioria das unidades produtoras de leite também executa a detecção visual do cio, método considerado de baixa eficiência. (FRENCH E NEBEL, 2003; RORIE, 2002)

A fim de auxiliar o produtor de leite no manejo do rebanho e na detecção de cios, inúmeras tecnologias têm surgido de sensores eletrônicos que medem a atividade (pedômetros), a produção, a temperatura e a condutividade elétrica do leite apresentada por cada vaca. Todavia, estas tecnologias não estão bem difundidas no mercado. Isto se deve ao seu alto custo e principalmente devido à dificuldade dos modelos computacionais em interpretar o grande número de dados gerado pelos sensores. Com o intuito de solucionar este problema, novos modelos de detecção de cio têm surgido. Estes modelos prometem melhorar a detecção com a utilização de ferramentas de suporte a decisão como o filtro Kalman e a lógica *fuzzy* ao invés da utilização de apenas cálculos estatísticos. A aplicação destes modelos tem apresentado alta taxa de detecção (80 a 90%). Por outro lado, a taxa de erro dos sistemas de detecção automáticos, ou melhor, o número de vacas identificadas no cio pelo sistema, mas que não estavam no cio varia entre 12,5 a 34,6 %. Com o grande número de alertas falsos positivos a confiabilidade do sistema acaba sendo duvidosa ao produtor de leite.(FIRK et al.,2002)

As vacas são mais ativas no cio. Entretanto, a relação entre o incremento na atividade e a presença do cio é uma informação incerta, pois varia de uma vaca para outra e,

além disso, não há um incremento fixo que indique a presença ou ausência do cio. A combinação desta informação incerta com dados sobre o calendário cíclico da vaca e dados climáticos torna o raciocínio um tanto nebuloso. Neste contexto, a ferramenta *fuzzy* apresentou-se como a mais adequada para a construção de um sistema computacional eficiente de detecção do cio. Isto se deve ao fato de a Lógica *Fuzzy* ser em sua essência uma “imitadora” da forma de pensar de um especialista no reconhecimento do cio. Esta lógica permite que se trabalhe com informações incertas, podendo ainda relacionar uma informação incerta com a outra. Na detecção automatizada do cio, por exemplo, a alteração no grau de movimentação é uma informação incerta, pois não existe uma alteração numérica exata que determine se a vaca está no cio ou não. A ocorrência de cio está também relacionada ao calendário cíclico de ovulação da vaca (outra informação inexata e de grande variação) e ao seu padrão de movimentação. Por esta razão escolheu-se trabalhar com a *Lógica Fuzzy* (BREHME et al, 2001).

Geralmente, nas fazendas onde o número de vacas é reduzido, o produtor sabe reconhecer com precisão quando cada uma de suas vacas está no cio. Entretanto, se o número de vacas é grande, a detecção humana pode ser falha. Pretende-se com a metodologia aqui proposta criar um sistema computacional que reproduza o conhecimento e a tomada de decisão dos especialistas na detecção de cio.

Urge-se por uma melhora na detecção de cios em rebanhos leiteiros. Os métodos atuais de detecção são falhos e a tendência é de piora. A situação é ainda mais agravante para o Brasil, pois não se sabe o quanto o país está perdendo na área da identificação do estro. O produtor de leite sabe que cada cio perdido resulta em um aumento de custo anual de mais de R\$200,00, resultando em mais de 21 dias de improdutividade da vaca, sob os custos de alimentação, mão de obra, energia, resfriamento, etc.

A fim de evitar este custo, muitos produtores têm infelizmente apelado para o uso de hormônios que induzem a ovulação, para que a vaca possa ser inseminada. Para eles, o custo das injeções de hormônios, que atualmente está em torno de R\$25,00, mostra-se mais vantajoso no momento do que o uso de sensores de detecção automática de cio, sensores estes considerados por eles mesmos como “não confiáveis”. Entretanto, a utilização de hormônios é passível de questionamentos, principalmente neste caso, em que a medicação poderia ser substituída por equipamentos automatizados de detecção.

A hipótese geral deste trabalho é a de que a aplicação de um sistema *fuzzy* na

detecção de cios, em rebanhos leiteiros da raça Holandesa, aumenta a eficiência dos sistemas automatizados de detecção, proporcionando taxas de detecção superiores a 80% e substitui o método convencional de detecção por observação visual.

1.1. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Desenvolver um sistema baseado em lógica *fuzzy*, tecnicamente válido, para a detecção automatizada de cios em rebanhos leiteiros da raça Holandesa, buscando melhorar a eficiência de detecção dos sistemas automáticos para mais de 80% (cios corretamente identificados).

Objetivos Específicos

- Com o intuito de estabelecer um conjunto de regras , formar uma base de conhecimento relacionada às variáveis que envolvem a manifestação de cio a partir de consultas a literatura e a especialistas na detecção de cio e a análise de dados de campo;
- Desenvolver um sistema *fuzzy* para a detecção de estro em rebanhos leiteiros;
- Testar em campo o sistema *fuzzy* desenvolvido;
- Validar tecnicamente o sistema *fuzzy* analisando a precisão total, a sensibilidade e a especificidade apresentados no teste em campo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A organização da revisão bibliográfica apresenta-se por assunto. Os primeiros quatro tópicos trazem informações sobre os aspectos fisiológicos da ocorrência do cio em rebanhos leiteiros. O conteúdo do quinto ao oitavo tópico trata sobre a detecção de cio em fazendas comerciais e da construção de sistemas fuzzy.

2.1. ESTRO

Entender sobre os fatores que levam o gado leiteiro a entrar no cio é fundamental no estudo da detecção automatizada do mesmo. Para tanto, é necessário saber sobre alguns fatores da reprodução de bovinos como, por exemplo, as interações hormonais, as mudanças na fisiologia animal durante as fases reprodutivas e finalmente saber sobre todos os conceitos envolvidos. É justamente este o objetivo deste capítulo.

2.1.1. *Estro e Ciclo Estral*

Estro, definido como o sinônimo de cio ou calor no dicionário Aurélio, refere-se ao período da fase reprodutiva de uma fêmea em que o animal apresenta-se pronto para copular ou para ser inseminado. Durante o cio a vaca sofre alterações morfológicas, endócrinas e secretórias na genitália tubular e nos ovários, culminando na ovulação. No pré-cio a vaca começa a dar sinais de que está prestes a entrar no cio, intensificando o seu nível de atividade (LEITE, 2001). As vacas passam, em média, 12 a 16 horas no cio. Durante este período a vaca dá sinais de que está no cio (vide tópico 2.3.). Em bovinos, a ovulação só ocorre de 12 a 16 horas após o término do período de manifestação do cio.

A puberdade em bovinos ocorre ao redor de 12 meses. Está no entanto mais relacionada ao peso corporal do que com a idade. Para o gado leiteiro a puberdade surge quando o peso do corpo representa de 30 a 40% do peso adulto. A taxa máxima de gestação é atingida, em média, aos 6 anos, sendo que a fertilidade diminui após este período.

O período do cio nas vacas é cíclico, e ocorre a cada 21 dias (podendo variar de 18 a 23 dias) nos animais não-prenhes. Sua duração varia de 2 a 30 horas, com uma média de 12-16 h, (WILLIAMSON et al., 1972) dependendo da raça, presença de doenças, temperatura

ambiente, tipo de manejo, entre outros fatores. Stevenson et al. (1996) observaram durações de cio de 2,6 a 26,2 h (média de 14 +/- 0,8 h). A média encontrada por Lopez e Shipka (2003) foi bem menor: 5,2 +/-0,9 h.

Uma série de fenômenos devem ocorrer para a liberação do óvulo fértil pelo ovário. Em suma, o ciclo estral se dá em duas fases: a fase folicular (descrita no item 2.1.4.) e a fase luteolítica. A ovulação ocorre na fase folicular. Durante esta fase, o folículo (estrutura no ovário que contém o óvulo) cresce e se desenvolve para finalmente o óvulo ser liberado. Após a ruptura do folículo forma-se uma estrutura no ovário chamada corpo lúteo (CL), caracterizando a fase luteolítica. O corpo lúteo produz progesterona, hormônio este relacionado ao controle da gestação. Portanto, se o óvulo é fertilizado e se há a presença de embrião, o corpo lúteo é mantido; de outra forma, não havendo fertilização, uma nova fase folicular é iniciada e o corpo lúteo regride. A duração média da fase folicular é de 3 a 6 dias, e a duração da fase luteínica é de 16 a 17 dias, sendo a duração da fase luteolítica o fator de maior influência sobre a duração do ciclo estral.

Para uma melhor compreensão sobre a fisiologia do cio apresenta-se em seguida uma descrição sobre os órgãos reprodutivos de fêmeas (item 2.1.2.), as funções dos hormônios no controle da reprodução (2.1.3) e detalhes sobre o desenvolvimento folicular e a ovulação (2.1.4.).

2.1.2. Anatomia da Reprodução

Os órgãos reprodutivos das fêmeas bovinas são a vagina e a genitália externa, os ovários, ovidutos, útero e a cérvix uterina, dispostos na Figura 2.1 e descritos a seguir:

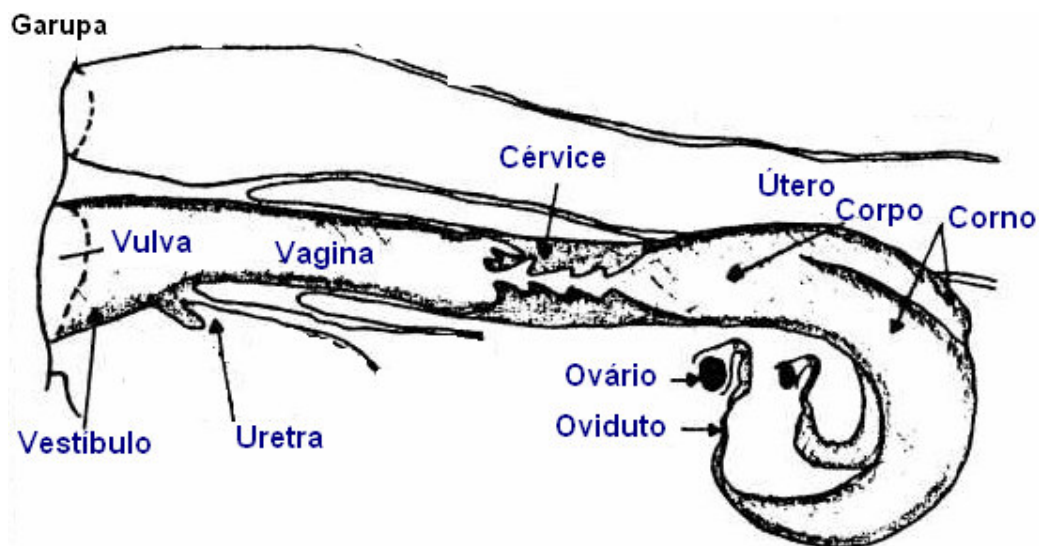


Figura 2.1. Órgãos reprodutivos de vacas. (FONTE: adaptado de CNPGL/EMBRAPA,2006)

- **Vagina e Genitália Externa**

A vagina é uma espessa camada circular que se estende do vestíbulo até para dentro do útero. Durante o ciclo estral a vagina sofre alterações interespecíficas, alterando os seus níveis de secreção de estrógeno e progesterona. Também durante o ciclo, à medida que se aproxima o cio, o fluido vaginal se torna mais fino, isto se deve a uma maior vascularização de suas paredes. Estas alterações, no entanto, não servem como diagnóstico das fases do ciclo estral. (HAFEZ e HAFEZ, 2004)

A principal função da vagina está em receber, armazenar, coagular e transportar o sêmen aos depósitos cervicais. Também serve como via natural para o parto e como agente excretor das secreções cervicais (HAFEZ e HAFEZ, 2004).

A genitália externa é composta pelo vestíbulo, pelos lábios maiores e menores, pelas glândulas vestibulares e pelo clitóris. O vestíbulo fica entre a vulva até a abertura da uretra.

- **Ovários e Ovidutos**

Os ovários são duas gônadas situadas na cavidade abdominal. É responsável pela produção e liberação do óvulo fértil para os ovidutos. Nas vacas, a ovulação ocorre alternadamente entre os dois ovários presentes (HAFEZ; HAFEZ, 2004).

O formato dos ovários varia para cada animal, sendo que nas vacas seu formato é do tipo “amêndoa”. Observa-se na Figura 2.2 um ovário de uma vaca primeiramente com um folículo emergente (A) e com o CL durante a fase luteínica. As vacas ovulam um só folículo, que pode ser identificado pelo seu tamanho 3 dias antes da expressão do cio, quando há a presença de um ou dois folículos grandes no ovário.

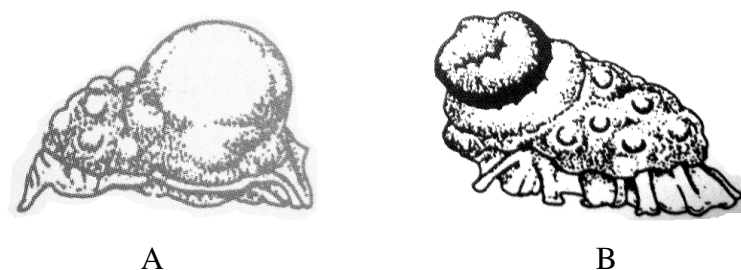


Figura 2.2. A. Ovário de uma vaca com folículo prestes a ovular. B. Mesmo ovário com o CL totalmente desenvolvido. (FONTE HAFEZ;HAFEZ, 2006)

Os ovidutos são compostos por túbulos localizados entre os cornos uterinos e os ovários. A bolsa ovárica que forma os ovidutos é larga e aberta nas vacas. A bolsa que envolve o ovário serve para receber o óvulo. As células ciliadas do oviduto permitem que o óvulo permaneça em constante rotação no oviduto para que a fertilização venha a acontecer (CNPGL/EMBRAPA, 2006).

- **Útero e a Cérvix Uterina**

O útero é o órgão que abriga o embrião durante a gestação. É bipartido, composto de dois cornos uterinos, um corpo e uma cérvix. Os fluidos uterinos do endométrio têm a função de transportar os espermatozoides até o oviduto, local onde a fertilização ocorre. Além disso, os fluidos atuam na regulação da função do CL. Quando uma nova fase folicular deve começar, o CL induz o útero a produzir uma substância para destruí-lo, permitindo assim que um novo folículo se desenvolva. (CNPGL/EMBRAPA, 2006).

A separação entre a vagina e o útero é feita pela cérvix. Esta estrutura serve como uma barreira microbiológica da vagina para o útero. Durante a gestação e o diestro, o canal cervical é fechado pela produção de um muco altamente viscoso, prevenindo a contaminação por parte da vagina. Durante o cio um relaxamento da cérvix e a liquefação do muco abre a

passagem para o sêmen ejaculado. O muco cervical é então excretado pela vulva, sendo esta secreção estimulada pelos estrógenos ovarianos e inibida pela progesterona. Coletando-se material deste muco durante o cio pode-se observar que depois de seco ele apresenta uma cristalização, como nervuras comparadas as de uma folha de samambaia (CNPGL/EMBRAPA, 2006).

2.1.3. Hormônios Relacionados a Reprodução

Ambos os sistemas nervoso e endócrino (sistema este relativo a glândulas secretoras internas) participam ativamente na iniciação, controle e manutenção de todo o sistema reprodutivo, incluindo o ciclo estral. Muitas funções orgânicas como por exemplo a ativação do sistema músculo-esquelético é controlada pelo sistema nervoso por meio de impulsos elétricos entre as células nervosas que comunicam a informação obtida pelo sistema nervoso. No sistema endócrino a comunicação é feita por hormônios ou mensageiros químicos que regulam processos orgânicos lentos como a reprodução (HAFEZ e HAFEZ, 2004).

Hormônios são substâncias orgânicas químico-fisiológicas produzidas por glândulas endócrinas e transportadas via corrente circulatória. A atuação dos hormônios se dá na regulação, inibição ou ativação da função de órgãos ou tecidos (com exceção de alguns hormônios produzidos no útero e no hipotálamo, que não se encaixam nesta definição). Os quatro sistemas ou órgãos responsáveis pela produção dos hormônios da reprodução são o hipotálamo, lobos anterior e posterior, útero, placenta e as gônadas (ovários incluindo estruturas como o corpo lúteo) (HAFEZ e HAFEZ, 2004).

Basicamente, os hormônios responsáveis pela manutenção da reprodução e desencadeamento dos eventos do ciclo estral em bovinos são o FSH (hormônio folículo estimulante), LH (hormônio luteinizante), GnRH (hormônio liberador de gonadotrofinas), estradiol e progesterona:

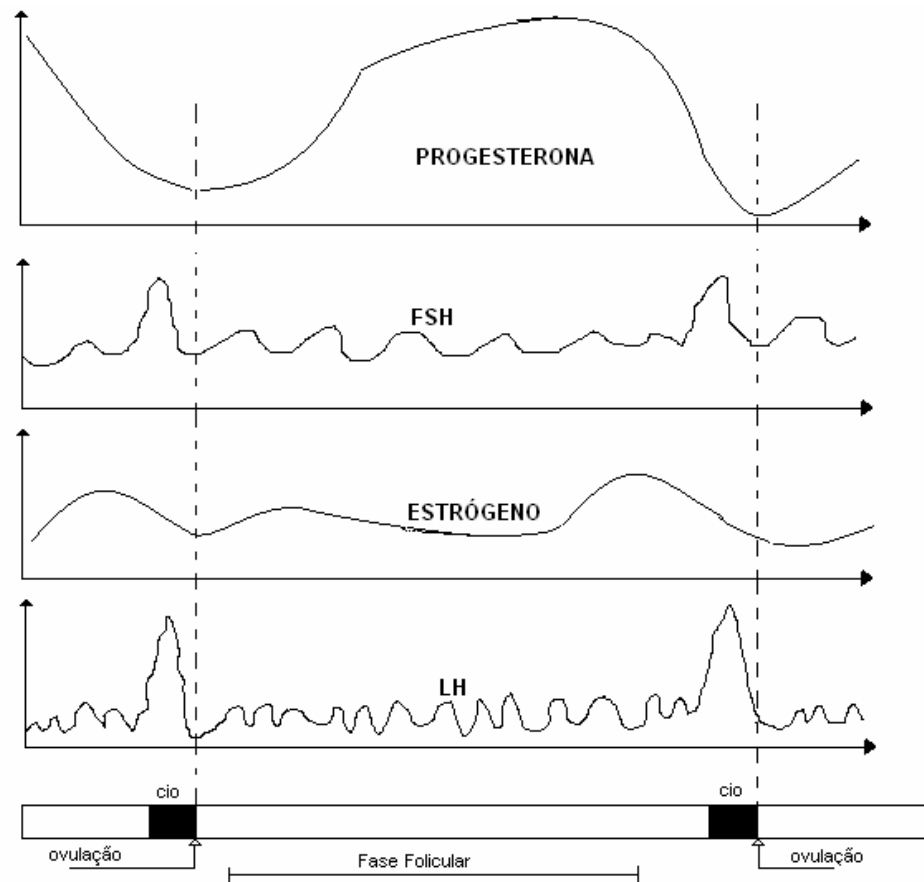


Figura. 2.3 . Interações Hormonais durante ciclos estrais de bovinos. (adaptado de CNPGL/EMBRAPA, 2006)

- **Hormônio FSH**

Hormônio produzido pela hipófise anterior com a função de estimular o desenvolvimento e a maturação do folículo ovariano e a secreção de estrógenos (o hormônio estradiol é o estrógeno primário). Para a secreção estrogênica é necessário que o hormônio LH também esteja presente, pois o FSH por si só não secreta estrógenos no ovário (HAFEZ e HAFEZ, 2004).

- **Hormônio LH**

Hormônio produzido pela hipófise anterior com a função de estimular a ovulação e a luteinização dos folículos que se rompem no ovário, formando o corpo lúteo. Logo antes da ovulação há um pico do LH, culminando no rompimento da parede folicular e ovulação (HAFEZ e HAFEZ, 2004).

- **Hormônio GnRH**

Hormônio produzido no hipotálamo com a função de estimular a liberação de FSH e LH (HAFEZ e HAFEZ, 2004).

- **Hormônios Estrógenos (Estradiol)**

Os estrógenos são produzidos pelo ovário e promovem principalmente a manifestação do cio. A indução do cio pelos estrógenos é feita juntamente com pequenas quantidades de progesterona. O desenvolvimento das glândulas mamárias e o crescimento dos ductos também são influenciados pela presença de estrógenos (HAFEZ e HAFEZ, 2004).

O comportamento da vaca durante o estro é alterado devido a produção do endógeno estradiol-17 β . Simultaneamente ao início do estro ocorre um aumento na concentração de estradiol-17 β , substância esta responsável pelo início do comportamento de cio. O estradiol-17 β também é responsável pela liberação do LH pela modificação na amplitude e na frequência da liberação do hormônio gonadotropina, na ausência de progesterona. Assim sendo, o aumento na concentração de estradiol-17 β , desencadeia uma série de eventos que resultam na ovulação. Acredita-se que tais eventos não sofrem influências de fatores ambientais. (STEVENSON et al, 1998; NEBEL et al., 2000).

Um aumento na concentração de estrógenos no sistema circulatório gera uma interação hormonal que resulta na ovulação. Isto ocorre porque a presença de estrógenos estimula um aumento na produção de FSH e LH. Diz-se que os estrógenos circulantes geram um efeito de retroalimentação positiva sobre o hipotálamo, ativando a liberação de GnRH, culminando em ondas pré-ovulatórias de duração média de 6 a 12 horas de FSH e LH, induzindo a ovulação. Após as ondas de FSH e LH o nível de estrógenos diminuem e as manifestações psíquicas de cio declinem.

- **Hormônio Progesterona**

Produzida pelas células do corpo lúteo, pela placenta e pelas glândulas adrenais, devido ao estímulo do LH, a progesterona é o próstágeno natural de maior relevância na reprodução, sendo transportada pela corrente circulatória, assim como os estrógenos. Sua atuação na indução do comportamento do cio é feita em conjunto com os estrógenos. A progesterona está principalmente relacionada a manutenção da prenhez. Mas também apresenta a

função de auxiliar o desenvolvimento das glândulas produtoras de leite, a inibição do início de uma nova fase folicular (HAFEZ e HAFEZ, 2004).

- **Hormônio Prostaglandina F2 α (PGF2 α)**

Praticamente todos os tecidos do organismo secretam este hormônio. Entretanto, grande parte das prostaglandinas atuam somente no local onde é produzida, atuando de célula para célula, não sendo transportadas pelo sistema circulatório e portanto não são consideradas hormônios. A principal função deste hormônio está relacionado ao seu poder luteolítico (regressão do corpo lúteo). Uma elevação nos níveis de estrógenos estimula a produção de progesterona. A PGF2 α pode interromper a prenhez pois atua na regressão do corpo lúteo e iniciação de um novo ciclo estral. O hormônio também está relacionado a contração da musculatura lisa dos tratos reprodutivos, a ovulação, ao início da produção de leite, ao desenvolvimento do corpo lúteo e ao parto (HAFEZ e HAFEZ, 2004).

2.1.4. Folliculogênese e Maturação Ovocitária

Já no nascimento as vacas apresentam um número pré-determinado de oócitos (um ovo primitivo no ovário) que determina o número de óvulos a serem liberados. Após sofrer a meiose o oócito forma o óvulo. Nos ovários, uma camada de células foliculares circunda os oócitos primários, formando os folículos primordiais. Até que a reserva de folículos primordiais acabe, novos folículos estão sempre crescendo até a ovulação ou até a sua degeneração (o que ocorre com a maioria dos folículos). Alterações moleculares e celulares e uma interação entre os fatores intra-ovarianos levam ao crescimento folicular, que dura no mínimo 20 dias, estendendo em até 6 meses o seu crescimento (HAFEZ e HAFEZ, 2004).

Uma série de eventos de crescimento folicular precede a formação do folículo pré-ovulatório e liberação do óvulo. Primeiramente, o folículo primordial, constituído por um oócito envolvido por uma única camada de células foliculares, tem o seu diâmetro aumentado, aumentando também o número de células da granulosa, com uma grande cavidade preenchida pelo fluido folicular – antro. Com estas alterações o folículo primário transforma-se no folículo secundário e depois no terciário (HAFEZ e HAFEZ, 2004). O folículo de Graaf (Figura 2.4) surge com o aumento do liquor folicular e com a movimentação do oócito para um

lado, envolto por uma camada de células foliculares formando o *cumulus oophorus*. O oócito permanece por muitas horas até que ocorra a primeira divisão meiótica (maturacional) e a expulsão do corpúsculo polar pelo folículo pré-ovulatório.

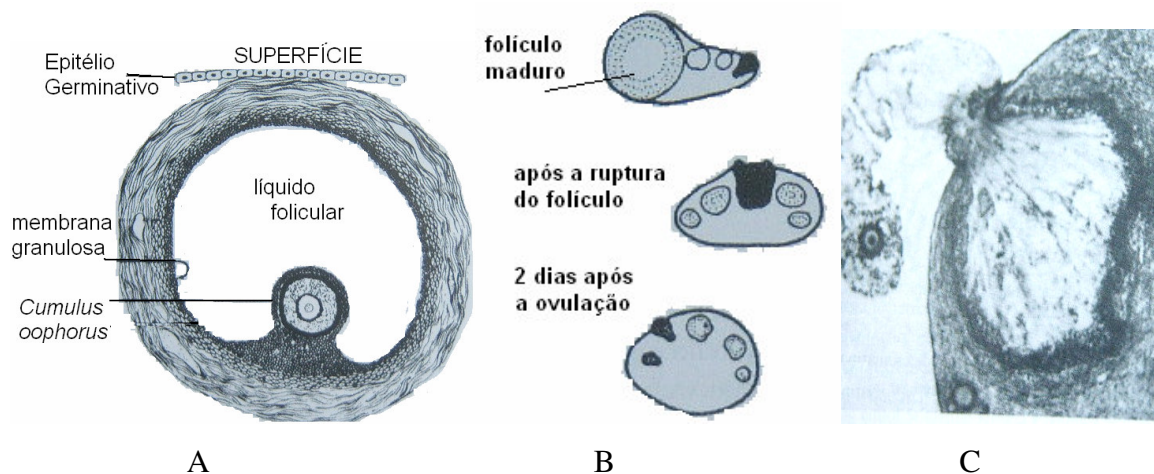


Figura.2.4 A. Folículo de Graaf. B. Transformações ovarianas devido ao crescimento folicular. C. Extrusão ovulatória do cumulus. (FONTE: HAFEZ; HAFEZ, 2004)

O líquido viscoso contendo o complexo cumulus-oócito é expelido vagarosamente do folículo até a sua alocação nos cílios da fimbria (abertura do oviduto com células cheias de cílios para recepção). O oócito se separa das células da granulosa e a meiose recomeça cerca de três horas após o pico de gonadotrofinas (LH e FSH) (HAFEZ e HAFEZ, 2004).

2.1.5. Anestro

O anestro refere-se a ocorrência de uma total inatividade sexual onde não há expressão do cio. As possíveis causas para as falhas do cio em bovinos está na presença de disfunções ovarianas (ex. ovários císticos), alterações hormonais (deficiências de LH e/ou GnRH), problemas na gestação, mortalidade neonatal, distúrbios do parto e do puerpério (período pós-parto) e complicações na manutenção do corpo lúteo. Apesar de o anestro ser na maioria dos casos associado a anormalidades do ciclo estral, também pode ser considerado como um estado fisiológico, como por exemplo antes da puberdade, durante a gestação e logo após o parto, quando não há o cio (CNPGL/EMBRAPA, 2006).

A duração da ausência do estro pós-parto, o anestro no puerpério, pode sofrer a influência de vários fatores fisiológicos, ambientais, genéticos, metabólicos,

nível de produção de leite, etc. O tempo necessário para a involução uterina pós-parto é de 4 a 6 semanas. (HAFEZ e HAFEZ, 2004) Neste período podem ocorrer cios silenciosos. O esperado é que novos ciclos estrais férteis surjam de 60 a 90 dias depois do parto, período este de maior fertilidade.

2.2. IMPORTÂNCIA DA REPRODUÇÃO NA PRODUÇÃO LEITEIRA

Um manejo reprodutivo eficiente implica que para cada vaca do rebanho leiteiro, a prenhez é alcançada dentro de um intervalo de tempo ideal. É necessário que a vaca esteja no cio para que ela possa ser inseminada. Após a inseminação, o ideal é que a vaca fique prenhe e que após a gestação o parto seja bem sucedido para que a vaca inicie um novo período de produção de leite. Caso o cio não seja identificado, há um atraso na concepção do bezerro, resultando em perdas como menor produtividade, e desperdício de material e de recursos humanos utilizados durante a inseminação.

Dobson H. et al.(2001) relatam que em todo o mundo tem crescido a preocupação sobre a redução na fertilidade com o aumento nos níveis de produtividade de leite. São muitos os fatores que podem afetar a fertilidade. Pesquisas realizadas nos últimos 10 anos têm indicado que muitas condições clínicas rotineiras, como a laminite, apresenta efeitos negativos na taxa de concepção e no número de inseminações por prenhez.

A fim de melhorar a taxa de fertilidade do rebanho, o sistema de detecção de cio deve estar altamente correlacionado com o tempo ótimo de inseminação.

Assim, analisando-se o gráfico da Figura 2.1, verifica-se a razão pela qual se indica ao produtor rural que a inseminação deva ser realizada entre 4 a 12 h após a detecção (imprecisa) do estro, a fim de se obter resultados satisfatórios de fertilidade. (MAATJE et al.,1997). Caso seja possível saber exatamente o momento exato do início do cio, sabe-se que o tempo médio ótimo de inseminação verificado experimentalmente pelos autores é de 11,8 +/- 1,7 h.

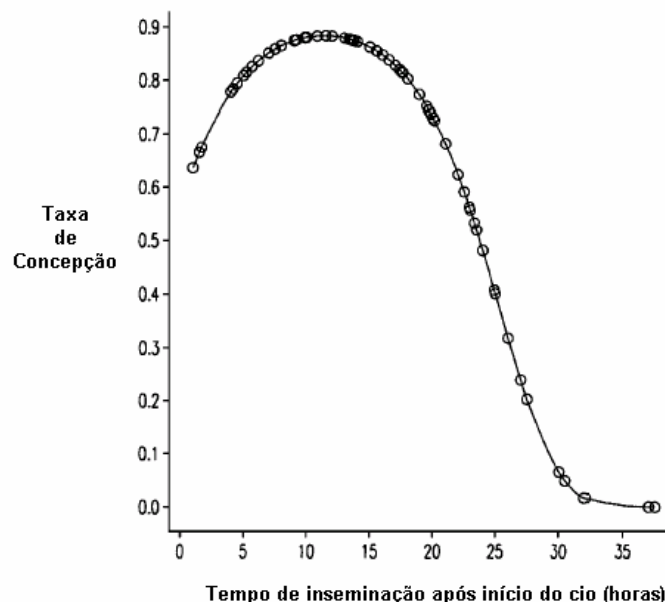


Figura 2.5. Probabilidade de concepção após inseminação a diferentes tempos após início do cio. Os círculos indicam o número de observações feitas (FONTE: MAATJE et al., 1997).

Todavia, ainda há incertezas sobre o tempo ideal para a inseminação artificial. Nebel et al. (2000) comentam que muitos dos estudos realizados com o intuito de determinar este tempo em relação a observação do cio são geralmente inadequados por causa do reduzido número de vacas utilizadas, comprometendo as comparações estatísticas, ou então devido a ineficiências dos métodos de detecção de cio.

Ademais, a eficiência na detecção de estro pode ir além de um simples aumento na fertilidade do rebanho. Martinez (2004) comprovou em seus estudos que é possível a escolha do nascimento de bezerros ou bezerras alterando-se o tempo de inseminação após identificação exata da presença de estro. Seus resultados mostraram que a porcentagem de nascimento de fêmeas (73,05%) foi significativamente superior para vacas inseminadas mais cedo, de 8 a 18 horas após a identificação do estro, enquanto que a taxa de nascimento de machos, indesejáveis em rebanhos leiteiros, é de 72,06% para inseminações tardias (30 horas ou mais após a identificação do estro).

2.3. SINAIS INDICADORES DE CIO E RESULTADOS DE OUTROS SISTEMAS DE DETECÇÃO NA LITERATURA

Neste tópico apresenta-se um estudo bibliográfico feito sobre os diferentes indicadores utilizados por outros pesquisadores como sinais que apontam para a presença de cio, bem como os resultados encontrados pelos mesmos. São apresentadas diferentes variáveis relacionadas com as manifestações de cio como a atividade, a monta, o calendário cíclico, produção de leite, aumento na temperatura corporal e testes de progesterona .

Usualmente na literatura, os sistemas de detecção de cio são avaliados utilizando-se cálculos de precisão, sensibilidade, especificidade, etc. Estes termos são explicados detalhadamente no item 2.8.3. (Análise de Resultados Obtidos por um Classificador) do tópico 2.8

2.3.1. Monta

Durante o cio as vacas montam e se deixam ser montadas por outras vacas. Entretanto, o melhor indício do cio é observado quando uma vaca aceita passivamente ser montada por outra (Figura 2.6). Vacas comumente que não estão no cio não permitem que outras vacas a montem. É através da observação visual de montas que o produtor rural decide quais vacas estão prontas para serem inseminadas. Stevenson et al. (1996) observaram que 17% das montas ocorrem na madrugada das 23h59min as 6h, 29% entre as 6h1min e 12h, 25% entre as 12h1min e 18h e 25% entre as 18h1min e 23h59min



Figura 2.6. Atividade de monta. A vaca que aceita ser montada por outra geralmente está no cio.

Em geral a observação da atividade de monta (Figura 2.6) é o único indício de cio utilizado pelo produtor para identificação do cio. Outros sinais também podem ser utilizados como indicadores de cio. A atividade (passos por hora) e o calendário cíclico da vaca, dentre outros descritos a seguir, também são sinais úteis para este fim.

2.3.2. Atividade

No período do pré-cio a vaca começa a apresentar alterações nas suas características biológicas e comportamentais. Varner et al. (1992) reportaram que as vacas começam a ficar mais ativas logo nas 4 horas antes do aparecimento do cio.

Um importante indicador para a incidência de estro é a inquietação. Em estudos como o de Kiddy (1997) foram encontrados níveis de atividade até 400% maiores em 93% de vacas no período de cio em relação à atividade em situações normais.

Sistemas automáticos de detecção de cio necessariamente utilizam os dados de movimentação. Os resultados de tais sistemas têm sido sempre satisfatórios. Eradus (1998), por exemplo, também utilizou um sistema *fuzzy* com 24 regras para a detecção de estro (entretanto somente utilizou dados de atividade), tendo tido como resultado a sensibilidade de 79% e uma taxa de erro de apenas 6% na detecção automatizada.

No momento da ordenha, um dispositivo de leitura dos pedômetros acusa a movimentação (dada em passos por hora) nas últimas horas. Cada vaca apresenta uma movimentação média particular para o período em que elas não estão no estro. Quando a vaca está para entrar no estro, essa movimentação média aumenta. Arney et al. (1994) estudaram a atividade de vacas e observou que este aumento ocorre gradualmente de 8 a 16 horas antes de a vaca estar em estro. Sua movimentação vai aumentando neste período até alcançar seu maior valor, o que ocorre no estado de estro. Este valor vai diminuindo exponencialmente até que a vaca volte a ter a movimentação padrão do período fora do estro.

Em um estudo realizado por Maatje et al. (1997), a atividade de uma vaca era medida de duas em duas horas. A Figura 2.7 mostra o momento que foi definido para o início de cio e o tempo indicado para inseminação (TI). A atividade relativa refere-se a relação entre a leitura (feita a cada duas horas) em relação a atividade padrão da vaca. O início do cio foi definido quando a leitura do pedômetro indicava uma movimentação duas vezes maior do que aquela encontrada para a leitura anterior feita duas horas antes.

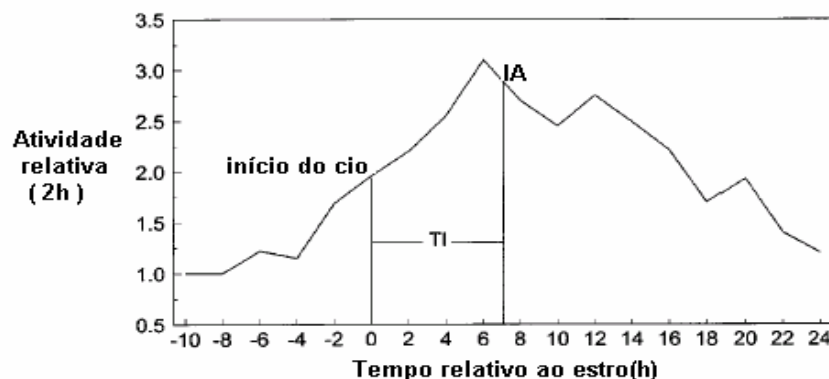


Figura 2.7. Atividade relativa para um período de 2hs e o tempo indicado para inseminação.(FONTE MAATJE et al. 1997)

A relação entre o início do cio e a porcentagem de incremento na atividade é subjetiva e incerta, cabendo ao produtor a escolha da porcentagem que indica a ocorrência de cio. Maatje et al. (1997) também utilizaram pedômetros. Em seu estudo as vacas eram tidas como no cio quando a média da movimentação do último período (12 h) era duas vezes maior do que a média dos últimos dois dias. Os autores utilizaram um modelo de filtro Kalman para analisar os dados dos pedômetros e obtiveram uma sensibilidade de 87% na detecção de cio.

Estudo do Incremento na Movimentação

A grande questão entre os que utilizam dados de movimentação na detecção do cio é saber qual o incremento na atividade média (também chamado de desvio) caracteriza o estado de cio. Diferentes valores de incremento têm sido utilizados nos trabalhos da área. Yániz et al. (2006), por exemplo, utilizaram em suas pesquisas um incremento mínimo de 100% no número de passos sobre a média dos últimos dois dias. Em López-Gatius et al. (2003) incrementos superiores a 80% em relação a média de dois dias anteriores eram diagnosticados como cio.

Firk (2003) utilizou a Lógica *Fuzzy* e a interface MATLAB® para tratamento dos dados da série temporal (que analisa a movimentação média da vaca). Seus resultados mostraram que quando a tolerância de desvio era de 40% a sensibilidade do sistema era maior, com maior taxa de erro (53,2%), enquanto que para a tolerância maior de 120% a sensibilidade foi menor para um erro menor (21,5%).

A melhor indicação de que a vaca está no cio é quando a vaca realiza ou principalmente recebe passivamente a monta, caracterizando o incremento na atividade. Entretanto já

foi verificado que quanto maior o número de lactações menor é a manifestação do cio. Para cada número adicional de lactação López-Gatiz et al. (2003) observou que o incremento na movimentação era 21% menor em relação ao cio da lactação anterior. Segundo os autores isto pode ser explicado pela preferência de vacas com maiores números de lactações em serem montadas ao invés de montar outras vacas, o que justificaria a menor atividade.

Além do número de lactações, altos índices de produtividade de leite também podem estar relacionados com alterações na manifestação do cio. Lopez (2004) reportou que vacas com produção superiores a 39,5 kg/dia apresentaram menores concentrações de estradiol serum no sangue coletado durante o estro. Como este hormônio está diretamente relacionado a expressão física do estro, o incremento de atividade destas vacas foi inferior do que as de baixa produção ($\leq 39,5$ kg/dia)

2.3.3. Calendário Cíclico das Vacas

O período que vai de um parto até o parto seguinte é denominado intervalo entre partos. O período que vai do parto até uma nova inseminação denomina-se período de serviço. Na prática, o período de serviço ideal é de 90 a 100 dias, permitindo uma parição por ano.

Desta forma, após a vaca ter parido, espera-se que ela entre no cio novamente de 90 a 100 dias. Depois disso, o cio se repete a cada 21 dias.

Com o registro da informação sobre o número de dias desde o registro do último cio apresentado por uma vaca, espera-se que a previsão de cio seja mais precisa. Firk et al. (2003) encontraram maior eficiência na detecção de estro utilizando o grau de atividade combinado com informações sobre o calendário cíclico das vacas.

2.3.4. Produção de Leite

Já é de conhecimento comum entre os especialistas que algumas vacas apresentam uma característica padrão no cio de produzir uma quantidade menor de leite e, em seguida, na outra ordenha, uma produção compensatória maior (SCHOFIELD et al., 1991). Por outro lado, Mitchell et al. (1996) apontam que este padrão pode ser observado visualmente apenas em 5 a 10 % do total das vacas do rebanho.

Em Roth et al. (1987) foi verificado uma queda na produção de leite de 8,2% no dia do estro. Além da redução na produção de leite durante o estro também já foi verificado em outros estudos uma diminuição na quantidade de alimento ingerido.

Ainda há questões não respondidas na literatura sobre a utilização dos dados de produção de leite na detecção do cio. Os resultados encontrados por diferentes autores a este respeito são por vezes contraditórios. Enquanto que no estudo de Schofield et al. (1991) foram encontradas reduções na produção de leite na ordem de 33%, em Lewis e Newman (1984) as variações na produção de leite estavam mais relacionadas ao dia de lactação do que a ocorrência do estro. A maioria da literatura consultada na área de detecção automática de estro nem sequer cogita a possibilidade da utilização de dados da produção de leite na detecção de cio.

2.3.5. Aumento na Temperatura Corporal

Durante o cio a vaca sofre alterações fisiológicas que resultam em uma alteração em sua temperatura corpórea. Segundo Brehme et al. (2001), com a combinação entre a temperatura corpórea e a atividade de uma vaca, é possível a identificação de 90% das vacas em cio, podendo inclusive ajudar na identificação de cios silenciosos. Os autores encontraram uma temperatura no núcleo do corpo 0,5 a 0,9° C maiores durante o clímax do cio. As investigações ocorreram com o uso de um *datalogger* no trato vaginal, onde as temperaturas eram em média 1,2 a 2,1° C superiores a temperatura corpórea medida na orelha com termo-implantes. Neste estudo também foi verificado que a utilização da condutividade elétrica do material do muco vaginal não é útil para a detecção do estro, pois sofre a influência de outros fatores indefinidos.

A alteração na temperatura pode ser obtida com um implante no reto ou indiretamente medindo-se a temperatura do leite. Roth et al. (1987) encontraram um índice de correlação entre a temperatura corpórea e a do leite de $r = 0,9$.

Lewis e Newman (1984) verificaram uma redução na temperatura corpórea dois dias antes da ocorrência do cio. Os autores afirmam no entanto que a temperatura corpórea sofre maior influência de fatores climáticos do que do ciclo do estro.

Outros fatores que influenciam a temperatura corpórea é o sistema de

confinamento, a precipitação, movimentação do ar, idade, atividade e alimentação. Assim sendo, dependendo do local onde o implante é instalado, tais influências impossibilitam a utilização de termo-implantes na detecção de cio. Outro fator limitante no uso de implantes deve-se ao fato de a sociedade não aceitar a utilização de procedimentos invasivos nos animais. (BREHME et al., 2001).

2.3.6. Testes de Progesterona

O hormônio progesterona é produzido pelo corpo lúteo no ovário e está relacionado à manifestação do cio e a manutenção da gestação. Mudanças no nível de progesterona no plasma sanguíneo ou no leite podem ser medidos e correlacionados com a ocorrência de estro. Na ocorrência do cio, os níveis de progesterona, que geralmente são mais elevados que 10 ng/ml de leite, caem para níveis menores que 3 ng/ml. O declínio no nível de progesterona entretanto, não ocorre no primeiro cio após o parto. (FIRK et al., 2002)

O acompanhamento diário dos níveis de progesterona encontrados no leite é um indicador eficiente de cio. Por outro lado, Firk et al. (2002) enfatizam que em campo a coleta e a identificação das amostras são tarefas de difícil realização. Além disso, o alto custo e a necessidade de mão de obra especializada dificulta a sua utilização em fazendas comerciais.

2.4. EFEITO DO CLIMA TROPICAL SOBRE O CIO

O Brasil possui quase todo o seu território situado dentro da zona tropical do planeta, que é definida entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio, entre as latitudes 30°N e 30°S. Assim, por todo o Brasil a temperatura média situa-se em geral acima dos 20°C, caracterizando um clima úmido e quente.

Segundo Dobson. et al. (2001) animais em estresse são aqueles que, por conta de alterações no ambiente, como a exposição a temperaturas elevadas, por exemplo, são impedidos de manifestar todo o seu potencial genético.

A reprodução é uma das atividades mais importantes para uma espécie. Em períodos desfavoráveis, um animal pode facilmente interromper suas atividades reprodutivas. O padrão pulsativo da liberação do hormônio GnRH, e consequentemente a frequência e a amplitude dos pulsos de LH secretados pelo pituitário são reduzidos quando um animal é exposto a uma situação de estresse.(DOBSON, et al., 2001).

López-Gatius (2003) encontrou em rebanhos leiteiros na Espanha um índice de prenhez 21% menor para os meses onde as temperaturas estavam acima de 25° C. Em López-Gatius et al (2003) foi verificado que a atividade de locomoção do animal sofre um incremento reduzido nos meses quentes.

No cio a temperatura corporal da vaca aumenta, resultando em manifestações físicas do comportamento sexual, afetando os processos reprodutivos. Quando a temperatura corporal aumenta, várias funções fisiológicas são alteradas (WOLFENSON et al., 2000). Como os sistemas fisiológicos relacionados ao controle da temperatura corporal estão diretamente relacionados ao sistema de controle reprodutivo, estes distúrbios causados pelo calor podem resultar em interrupção reprodutiva. Além disso, esses mecanismos podem afetar também vários tecidos reprodutivos, especialmente os embriões, que são comprometidos quando exposto à altas temperaturas (PIRES et al., 1998). Pode ser explicado que o estresse térmico inibe o desenvolvimento folicular ovariano e reduz as concentrações de estradiol, hormônio este responsável pela expressão física do cio (BADINGA et al., 1993) Assume-se, em geral, que vacas expostas a ambientes com elevadas temperaturas têm a intensidade no comportamento do estro reduzida. Muitos são os estudos que comprovam tal redução na expressão do estro. (ORIHUELA, 2000)

A manifestação do cio é fortemente afetada quando vacas em lactação ficam expostas a um ambiente quente (TITTO, 1998). O gado leiteiro, principalmente aquele oriundo de regiões de clima temperado como o da raça Holandesa, responde negativamente ao clima tropical. De modo geral, a zona de termoneutralidade (ZTN) de vacas Holandesas, em lactação, em termos de temperatura do ar, varia de 4°C a 26°C, (HUBER, 1990).

Durante o verão é comum observar alterações na duração do ciclo estral, bem como aumento na percentagem de óvulos anormais e na incidência de morte embrionária. A duração do estro bem como as manifestações do mesmo podem ser agravadas pelo calor (GANGWAR et al., 1965). PIRES et al. (1998) relata que a duração do cio pode baixar para apenas 5-6 horas, sendo que a duração normal é de 18 a 28h. Wilson et al. (1998) demonstraram que a função ovariana tanto de novilhas quanto de vacas é alterada em resposta ao estresse térmico.

Portanto, a quantidade de cios não identificados durante os dias quentes é maior. As causas dessas alterações podem ser atribuídas a:

- Diminuição da atividade física dos animais;

- Mudanças no padrão de secreção de LH ;
- Mudanças nos níveis plasmáticos de estrógeno, progesterona e corticóides (PIRES et al., 1998).

As conseqüências dessa situação de estresse podem ser de três tipos: alterações em seu crescimento, reprodução e produção de leite.

Ao se submeter os animais a um ambiente diferente do original ou face a mudanças indesejáveis do mesmo, estes recorrem a mecanismos de adaptação a fim de manter sua homeostase. Quando isso ocorre, os animais encontram-se sob estresse. Titto (1998) relata que a vaca Holandesa apresenta produção 69% menor quando submetida a uma temperatura de 34°C e umidade relativa de 80% se comparada com sua produção à 24°C e 38% de umidade.

Os fatores climáticos que envolvem o estresse térmico são a temperatura, a umidade, a radiação solar e a velocidade do vento. A temperatura crítica para o estresse térmico foi determinada em Israel por Berman et al. (1985) em 25 e 26° C. Comumente utiliza-se índices de temperatura e umidade (ITU) maiores que 72 para determinar se a vaca está ou não em estresse. (ARMSTRONG, 1994; JORDAN, 2003). Quando o ITU é ≥ 72 um número menor de vacas são detectadas no cio e ademais, a taxa de concepção (TC) é menor. (CARTMILL et al., 2001).

Desta forma, o desempenho produtivo do gado leiteiro no Brasil está prejudicado pelo clima, devendo os produtores tomarem as devidas providências para atender as exigências climáticas dos rebanhos.

2.4.1. Outros Fatores que influenciam a manifestação do cio

Além do fator climático, muitos outros fatores, como por exemplo, fatores como o nível de produção de leite, o número de animais no cio simultaneamente, o estresse térmico, a umidade relativa, as altas temperaturas e até mesmo o piso podem influenciar a manifestação do cio. (STEVENSON et al., 1996). Muitos estudos ainda estão sendo publicados no intuito de descobrir quais variáveis influenciam a manifestação do cio e como esta influência interfere a identificação do estado de cio entre as vacas. A literatura traz investigações sobre a influência das alterações na atividade, produção de leite, temperatura corporal e temperatura do leite na ocorrência do estro.

Stevenson et al. (1996) encontraram que quando a umidade relativa está acima de 95% as vacas apresentam menor incremento na movimentação do que nos dias de menor umidade (285 +/- 118 % versus o incremento de 302 +/- 111% respectivamente). Os autores também verificaram que quanto maior o número de lactações e quanto mais elevado é o nível de produção de leite da vaca (kg/dia) menor é o incremento da atividade no dia do cio. Os autores, no entanto, não encontraram nenhuma influência sobre a idade, estação do ano, número de cios anteriores, dias de lactação e dados climáticos (exceto a umidade) no incremento da atividade.

Lopez e Shipka (2003) verificaram que a superfície do piso onde as vacas permanecem ao manifestar o cio exerce uma grande influência sobre a eficiência na detecção do estro. Os autores compararam a atividade de monta verificada sobre pisos de concreto e sobre o solo natural. Apesar de as vacas ficarem apenas 25% do tempo sobre o solo natural, 55,8% da atividade de monta ocorreu sobre este solo, enquanto que 44,2% foram observadas no piso de concreto. Os autores afirmam que as vacas, ou perceberam o perigo de escorregar ao realizar a monta sobre o concreto, ou se recordam do medo de montar sobre pisos que as deixam inseguras. Ademais, a maioria das montas foram verificadas nos primeiros 30 minutos após as vacas serem deslocadas do free-stall para o solo natural

2.5. FORMAS DE DETECÇÃO DE CIO

Existem vários métodos de detecção de cio como, por exemplo, os métodos de sincronização de cio (realizados pela administração de hormônios), da observação visual (o mais comum), uso de pedômetros, radiotelemetria, detectores de monta, rufiões, fêmeas androgenizadas, buçal marcador de monta, leitura da impedância elétrica na vulva e até mesmo cachorros treinados a sentir odores relacionados ao cio. Alguns destes métodos melhoram a eficiência na detecção de cio quando combinados simultaneamente com a detecção visual, porém, quando utilizados como único método de identificação do cio o seu benefício é menos efetivo. Todos os métodos visam ajudar o produtor a detectar o cio, porém, apesar de serem eficientes não são tão precisos como a observação visual. (STEVENSON e BRITT, 1997) Por outro lado, segundo as investigações De Mol (2000), Firk et al. (2003), entre outros, o máximo de eficiência entre todos os métodos foi alcançado com o uso dos modelos de detecção automatizados combinados com a detecção visual

2.5.1. Detecção Visual

O método da detecção visual é o mais utilizado na detecção de cio. Este método baseia-se na identificação das vacas que aceitam ser montadas por outras vacas. A observação é feita diariamente duas ou três vezes por duas pessoas, uma que permanece parada em um canto da instalação ou cerca, e outra que se movimenta entre os animais. A primeira observação é feita no período da manhã, entre as 5 e 6 h, e outra no período da tarde entre as 17. e 18 h.

No estudo de Stevenson et al. (1996) 25% das observações de monta ocorreram durante a madrugada, entre as 18:00 e meia noite. Na detecção visual, tais ocorrências de cio não são identificadas pelo funcionário.

A grande desvantagem deste método está no fato de que o tempo que a vaca aceita monta corresponde a aproximadamente 1% do tempo total de duração da estro. (SENGER, 1994). Lopez e Shipka (2003) notaram que, em média, as vacas ficam um total de 15,3 +/- 2,7 segundos recebendo a monta ao longo da duração do estro.

Stevenson et al (1996) comparou a eficiência da detecção visual de cio e um sistema de detecção automatizado de radiotelemetria (descrito no item 2.6.2.). Para os 41 casos de cios observados pelo sistema automático, a detecção visual falhou em detectar 11 vacas no cio (37%). Em tal estudo a eficiência na detecção do cio foi de 73%, enquanto que o sistema automático apresentou 100% de eficiência. Por outro lado, o percentual de estros visualmente identificados no estudo de Walker et al. (1995) foi de 51% e 61% em Nebel et al. (1995). Mele et al (2001) verificaram uma porcentagem de 52% de casos de cios visualmente identificáveis, tendo afirmado que esta porcentagem é um bom resultado se comparado com o de outros estudos.

2.5.2. Detecção com Animais

Animais detectores de monta são touros escolhidos, também chamados “rufiões machos”, ou então fêmeas androgenizadas, que são fêmeas masculinizadas com hormônios, que servem para identificar as vacas que estão no cio ou no pré-cio. Sua principal vantagem está na facilidade de aplicação e baixo custo. A utilização de machos têm sido uma alternativa mais econômica, devido ao custo da androgenização e ao baixo número de fêmeas que respondem ao tratamento. Deve-se atentar para o fato de a vaca não receber a penetração durante a monta. Assim, os rufiões podem ser vasectomizados.

Em algumas fazendas coloca-se um buçal marcador preso ao pescoço do animal detector, este buçal contém uma reserva de tinta do tipo pó-xadrez que é liberada durante a monta.

Este método de detecção mostra-se vantajoso para rebanhos pequenos onde poucas vacas apresentam cio. Firk et al. (2002) relatam que a taxa de detecção pode ser aumentada para valores maiores que 80% em fazendas onde há a combinação entre animais detectores e detecção visual. Entretanto deve-se observar que a libido dos touros é reduzida durante os dias quentes.

2.5.3. Detecção com Sincronização do Cio e IATF

A sincronização de estros em bovinos de leite tem sido incorporada como uma ferramenta para facilitar a detecção de estros. Trata-se de uma tecnologia que induz a ocorrência simultânea de cios de grupos de vacas através da administração de substâncias químicas. Os principais métodos utilizam derivados da prostaglandina ou GnRH que são hormônios liberadores de gonadotrofinas. A ação destas substâncias consiste na regressão prematura do lúteo, causada pela prostaglandina e pela indução de ovulações dos folículos dominantes (COX et al, 1999). Moore & Thatcher (2006) explicam que PGF2 α induz a regressão do corpus Luteum (CL) engatilhando a cascata luteolítica e diminuição na secreção de projesterona. GnRH induz a liberação de LH resultando no recrutamento de uma nova onda folicular.

Outro método relacionado com a sincronização do cio é a inseminação por tempo fixo (IATF). Para realizar a IATF o produtor deve obter junto a um veterinário o protocolo adequado. Comumente utiliza-se protocolos de injeções programadas de GnRH combinadas com injeções de PGF2 α . Com isto a ovulação é induzida em um tempo conhecido para que a vaca seja inseminada sem a necessidade de se detectar o cio. Moore & Thatcher (2006) estudaram os avanços na utilização do IATF e apresentaram um programa de inseminação chamado *Ovsynch* onde uma injeção primária de GnRH é aplicada a um tempo pré-determinado após o parto seguida de uma injeção de PGF2 α 7 dias depois. Novamente o GnRH deve ser aplicado 48 h após a injeção de PGF2 α . A inseminação artificial deve então ocorrer no tempo fixo de 12 a 16 horas após a última injeção de GnRH.

Por outro lado, apesar de estes métodos serem uma opção acessível ao

produtor, a utilização de hormônios sintéticos não é bem aceita pela maioria dos consumidores de produtos de origem animal. As normas de produção Demeter (DEMETER ASSOCIAÇÃO BIODINÂMICA, 2005), por exemplo, não permite o uso de hormônios para sincronizar o cio. Moore & Thatcher (2006) relatam que a progressão da tecnologia no uso de produtos farmacêuticos que imitam os processos fisiológicos são bastante limitadas nos EUA para os produtores de leite. Adiciona-se a isto o fato de muitos produtores optarem pelo uso de IATF como alternativa para a detecção do cio sem saber que tal método não soluciona os problemas relacionados a baixa taxa de concepção (TC) ocasionados por fatores como por exemplo o estresse térmico. Com a utilização do IATF a detecção de cio nos dias quentes pode ser melhorada, entretanto a maturação do ócito a TC continuam a serem comprometidas pelo estresse térmico (JORDAN, 2003).

2.6. DETECÇÃO AUTOMATIZADA DE CIO

Diversas tecnologias eletrônicas têm sido desenvolvidas no intuito de melhorar a detecção de cio. Encontram-se disponíveis no mercado aparelhos eletrônicos de detecção que estão baseados em alterações físicas de atividade (pedômetros), variação na condutividade elétrica, temperatura e produção do leite, impedância na secreção da vulva e detectores de monta. A grande maioria dos sistemas automatizados procuram monitorar alterações no nível de movimentação das vacas. De acordo com Mele et al. (2001), incrementos nos valores de atividade (passos/hora) estão tão fortemente relacionados a ocorrência do cio que é quase impossível haver um aumento na movimentação na ausência de cio. Rorie (2002) afirma que a utilização de qualquer um destes aparelhos aumenta significativamente a eficiência na detecção de estro, principalmente em rebanhos com um grande número de vacas.

Na detecção automatizada de cio, antenas instaladas nos galpões, ou na sala de ordenha, coletam os dados dos aparelhos eletrônicos instalados nas vacas (pedômetros ou sensores de pressão). Os dados são analisados com o uso de softwares baseados em sistemas especialistas capazes de diagnosticar as vacas no cio.

2.6.1. Pedômetros

Pedômetro é um aparelho que mede a intensidade da atividade comportamental de uma vaca, marcando a quantidade de passos por hora do animal. A medida é feita através

de um sensor que mede a movimentação de um pêndulo livre que fica dentro do equipamento. Existem outros tipos de instrumentos de medida de atividade além dos pedômetros, como por exemplo os *Large-Scale Integrators*, os Acelerômetros e os Monitores Tridimensionais de Atividade.

O aparelho é acoplado ao redor de uma das patas da frente e é utilizado em conjunto com um outro aparelho receptor para leitura e gerenciamento dos dados.

Os pedômetros gravam automaticamente o número de passos de cada vaca para um determinado período de tempo. Esta informação é transmitida para o aparelho receptor todas as vezes que a vaca entra na sala de ordenha. A atividade comportamental das vacas pode assim ser medida a cada período de 8 a 12 horas, conforme o manejo de ordenha da fazenda.

Segundo Firk et al. (2002) os sistemas automatizados que utilizam os pedômetros são os que apresentam os melhores resultados na detecção de cio. Incrementos nos níveis de atividade verificados pelos pedômetros são uma forte indicação da presença de cio. Entretanto, a maior limitação na utilização dos pedômetros é o grande número de alertas positivos-falsos na detecção do cio (MAATJE et al., 1997). Novos modelos de detecção de cio que interpretam os dados de atividade (coletados com os pedômetros) combinados com outros dados relevantes na detecção de cio têm surgido com o intuito de diminuir o número de alertas positivos-falsos e aumentar a confiança dos sistemas automatizados.

2.6.2. Radiotelemetria

Os sistemas de detecção que utilizam a radiotelemetria são constituídos por um sensor de monta, fixado no dorso da fêmea, que emite ondas de rádio toda vez que sofre uma pressão exercida por uma monta. A onda é captada por uma antena de alcance aproximado de 400 metros, e envia os dados para um sistema automatizado. Como durante o cio as vacas permitem que outras vacas as montem, os sensores instalados no dorso servem para identificar as montas realizadas. Stevenson et al. (1996) reportaram que as montas duram em média 8 +/- 6 segundos. Os sensores são ativados portanto na ocorrência de pressões no dorso com duração maior que 1 segundo. O cio é identificado quando montas sucessivas ultrapassam 2 segundos. Lopez e Shipka (2003) verificaram para 147 cios, uma média de 4,7 +/- 0,9 de montas e uma média de 3,2 +/- 0,3 segundos. Os autores também notaram que para cada estro o total de tempo em que as vacas permaneciam sobre monta era em média 15,3 +/- 2,7 s.

Stevenson et al. (1996) compararam a eficiência da detecção visual do estro e a detecção com radiotelemetria em novilhas de raça de corte sincronizadas com prostaglandina e encontraram que a eficácia na utilização desta técnica foi de 100% contra 73% da observação visual (manhã e tarde).

A utilização deste método ainda está limitada a pesquisa pois o seu preço ainda não é acessível e a fixação dos sensores nas vacas ainda requer muita manutenção.

2.7. SISTEMAS *FUZZY*

Objetivou-se aqui apresentar os conceitos da lógica fuzzy e o a característica de sistemas nela baseados. Devido ao seu rigor matemático, a fundamentação teórica sobre os conjuntos fuzzy encontra-se no APENDICE A.

2.7.1. A *Lógica Fuzzy*

A teoria dos conjuntos *fuzzy*, ou segundo a tradução, a teoria dos conjuntos nebulosos desenvolvida por Lofti A. Zadeh em 1965 (ZADEH, 1965), consiste em uma revolução a teoria dos conjuntos clássicos, permitindo a introdução de graus de incerteza ao lidar com conjuntos. Segundo o próprio autor explica em seu artigo intitulado *Fuzzy Sets* (Conjuntos Nebulosos):

“Claramente, as classes de conjunto que definem “*as classes de mulheres bonitas*”, “*as classes de homens altos*”, não constituem classes ou conjuntos no senso usual matemático destes termos. Estas “*classes*”, assim imprecisamente definidas, constituem um importante papel no pensamento humano, particularmente no domínio do reconhecimento de padrões, comunicação de informação e abstração.

O propósito deste trabalho é explorar...um conceito para lidar com as “*classes*” citadas acima. O conceito em questão é que um “*conjunto fuzzy*” é uma “*classe*” com graus contínuos de filiação.” (tradução livre do artigo *Fuzzy Sets* ZADEH, 1965).

Analisando-se as próprias palavras do autor, nota-se que a lógica *fuzzy* foi criada com o intuito de representar matematicamente o raciocínio humano “...particularmente no domínio do reconhecimento de padrões, comunicação de informações...”. Neste conceito, a lógica *fuzzy* torna-se uma ferramenta importante para representar sistemas que lidam com variáveis definidas de modo vago, incerto ou impreciso (BÁRDOSSY; DUCKSTEIN, 1995).

Dados de movimentação e o calendário cíclico de vacas são típicos exemplos de variáveis incertas.

Segundo a teoria dos conjuntos clássicos, ou um elemento pertence 100% a um conjunto ou pertence 0 % (ou seja não pertence). No caso dos conjuntos *fuzzy*, a noção sobre pertencer ou não, recebe um tratamento diferente. O uso dos conjuntos *fuzzy* permite-se que se trabalhe na área cinza que existe entre o branco e o preto. Utilizando-se tal conceito, pode-se, por exemplo, dizer que um elemento pertence pouco, médio ou muito a um conjunto, o que é típico do pensamento humano (ZADEH, 1965).

2.7.2. Estrutura de Sistemas Fuzzy

Nos anos 90, com o uso intensivo dos novos recursos computacionais foi possível a criação de técnicas de modelagem e o desenvolvimento de sistemas especialistas inteligentes capazes de executar tarefas ou resolver problemas a partir de uma base de conhecimento. Foi então que surgiram métodos como a lógica *fuzzy*, *Bootstrap* e *Neural Networks*. Estes fazem parte da nova era da inteligência artificial.

Os sistemas *fuzzy* apresentam a mesma estrutura de qualquer sistema baseado em conhecimento como está apresentado na Figura 2.8.

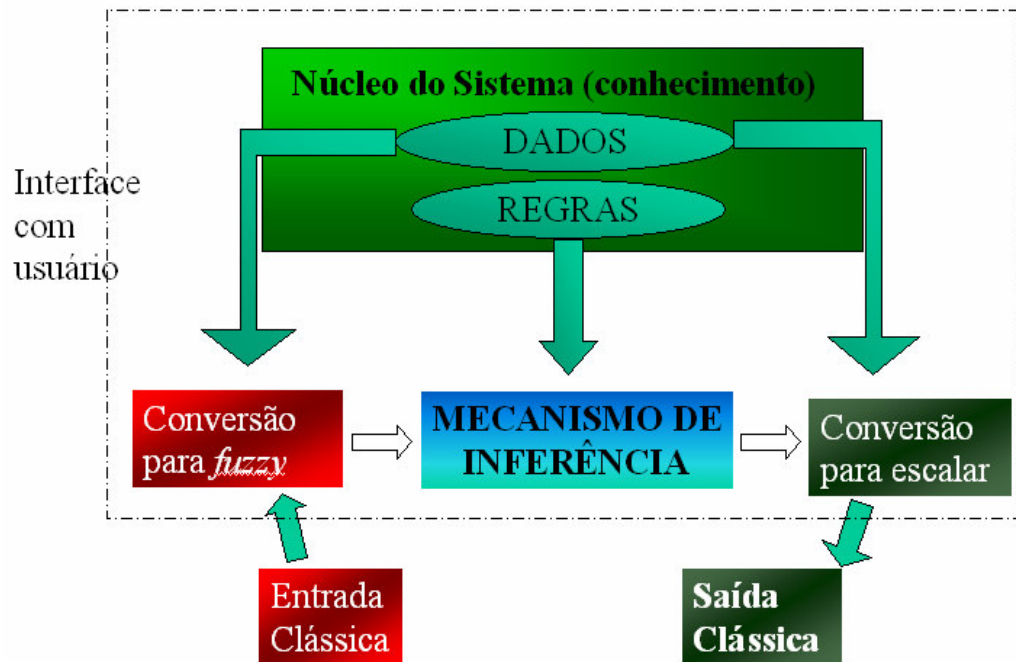


Figura 2.8 Estrutura de um sistema baseado em conhecimento.

O núcleo do sistema baseado em conhecimento (SBC) contém as informações e as relações necessárias para executar os mecanismos de inferência (no caso a tomada de decisões baseado no conhecimento prévio). A representação do conhecimento é feita através das regras SE, ENTÃO das funções de pertinência. (REZENDE, 2003)

Método Mandani (mecanismo de inferência)

O primeiro sistema *fuzzy* foi criado por Ebrahim Mandani na Inglaterra, com o objetivo do controle inteligente de uma máquina de vapor. O Engenheiro Mandani utilizou os conhecimentos de um operador humano (o especialista) para o desenvolvimento de um sistema que fosse capaz de “imitar” o pensamento do operador no controle. Foi no aperfeiçoamento deste sistema que Mandani criou um sistema *fuzzy* ainda mais eficiente: o sistema especialista baseado em regras. Utilizando os conceitos de conjuntos *fuzzy* de Zadeh, o engenheiro Mandani percebeu que a utilização da combinação de variáveis lingüísticas (ex. baixo, médio alto) por meio de regras resulta em controladores inteligentes mais simples e eficientes. (MCNEILL e THRO, 1994).

O modelo de inferência do sistema *fuzzy* utilizado neste trabalho é justamente o método de Mamdani, já que este é baseado em uma base de regras e permite a transformação das variáveis tanto de entrada como de saída em conjuntos *fuzzy* equivalentes. Ao se utilizar o método de Mamdani, o sistema apresenta como saída valores adimensionais entre 0 e 1, sendo que, neste projeto, resultados próximos a zero indicam ausência total de cio e por outro lado, resultados próximos a 1 indicam total presença do cio. O modelo de inferência de *Takani Sugeno* (REZENDE, 2003) tem como saída valores reais, e por esse motivo não se adequa a construção de modelos de detecção de cio.

Uma representação esquemática do diagrama de inferência Mamdani é mostrado na Figura 2.9. Neste exemplo, são utilizados dois dados de entrada: o dado de “movimentação” (entrada 1), que pode ser baixo, médio ou alto e o dado de “dias desde o último cio” (entrada 2), que pode ser curto, médio ou longo. A interação entre as duas entradas, realizada pelo modelo de inferência Mamdani, segundo as duas regras, resulta em um alerta final de cio (saída) (REZENDE, 2003)

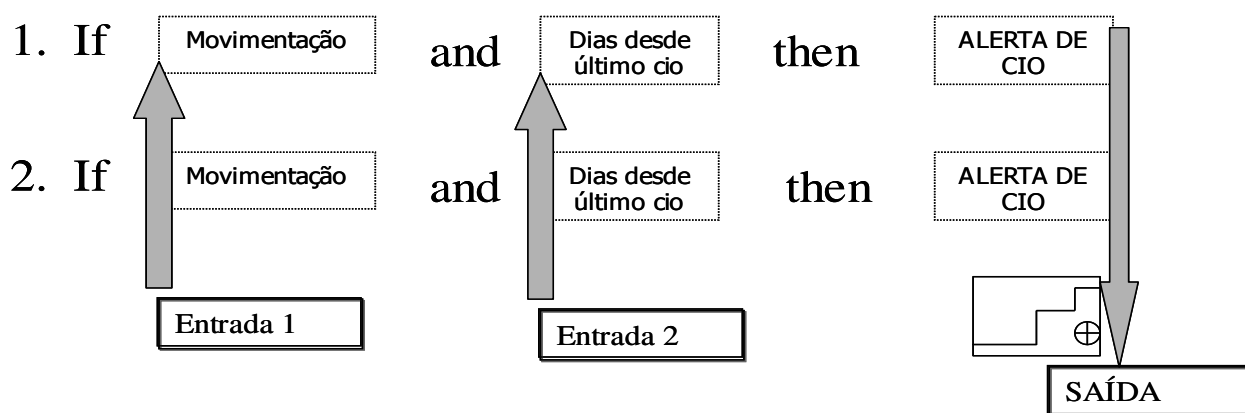


Figura 2.9. Representação esquemática do diagrama de inferência utilizando 2 regras, 2 dados de entrada e 1 saída.

Os três passos para a elaboração de um de um sistema de lógica *fuzzy* são: “fuzzificação”, “inferência *fuzzy*” e “defuzzificação”, descritas a seguir (REZENDE, 2003; AMENDOLA et al., 2004):

Fuzzificação. Na “fuzzificação” (*fuzzification*) variáveis reais são transformadas em variáveis lingüísticas por funções de pertinência (ou filiação). Como por exemplo, a variável movimentação é ligada a termos lingüísticos (baixa, média, alta). As funções de

pertinência, ou conjuntos *fuzzy*, definem o grau de pertinência de cada termo. Assim, um valor de movimentação recebe um grau de pertinência que vai de 0 a 1 para cada termo. As formas trapezoidais e triangulares são as mais utilizadas na representação das funções de pertinência. (REZENDE, 2003)

Inferência fuzzy. Na inferência *fuzzy* cria-se uma base de regras que relaciona as variáveis lingüísticas independentes com a dependente. Para o caso da identificação do cio, por exemplo, relaciona-se todas as funções de pertinência de movimentação (baixa, média e alta) com as funções de pertinência do período desde o último cio (curto, normal, longo e muito longo) e o respectivo estado de cio. O número de variáveis de entrada e o número de regras são definidos de acordo com a base de conhecimento, obtida inicialmente. (REZENDE, 2003)

Defuzzificação. É na “defuzzificação” que se obtém o conjunto *fuzzy* final que é o resultado dado pelo sistema. Os valores da fuzzificação e da inferência *fuzzy* (combinação das regras) são portanto transformados em valores escalares de 0 a 1. Para o método aqui apresentado, este número é gerado através do cálculo do centro de gravidade (obtido pelo centróide da área determinada pela união das funções de associação da saída, como na Figura 2.9) (REZENDE, 2003).

Na investigação de De Mol et al. (2001) alertas sobre a identificação de estro verdadeiras eram feitas quando valores de defuzzificação excediam 0,5. A escolha aleatória do ponto de corte em 0,5 pode prejudicar o desempenho da lógica *fuzzy*. Além disso, os valores obtidos na defuzzificação dependem muito do formato das funções de pertinência de saída. Assim sendo, a determinação do ponto de corte que separa as vacas “sem cio” das “com cio” é muito mais complexa do que a simples escolha de um valor. A curva ROC, apresentada neste estudo, pode ser utilizada como uma eficiente ferramenta na determinação deste ponto de corte pois com a curva pode-se visualizar a performance do sistema para cada ponto de corte escolhido.

2.8. MEDIDAS DE AVALIAÇÃO DE CLASSIFICADORES (SISTEMA *FUZZY*)

Sistemas *fuzzy* utilizados para a tomada de decisões são conceitualmente classificadores. O sistema *fuzzy* aqui apresentado, por exemplo, tem por objetivo classificar vacas no cio e separá-las das vacas que estão sem cio.

O objetivo deste tópico é apresentar uma fundamentação teórica explicativa sobre a metodologia utilizada para a avaliação do desempenho do sistema *fuzzy* desenvolvido. Inicialmente, apresenta-se o significado dos termos precisão, sensibilidade, especificidade, etc. Por fim, apresenta-se a curva ROC, técnica esta utilizada para a avaliação do “poder” do sistema *fuzzy* em detectar o cio.

2.8.1. Sistemas de Suporte a Decisão

Quando novos sistemas computacionais são criados com o intuito de dar suporte a decisões, faz-se necessário adotar medidas que analisem o poder descritivo do novo sistema criado. Tais medidas servem, por exemplo, para avaliar a eficiência de um sistema em gerar respostas sobre a classificação de vacas *com* ou *sem* cio que estejam muito próximas da realidade.

A aplicação prática dos sistemas de suporte a decisão é um processo complexo, pois envolve muitos fatores, como no exemplo da detecção de cio, a qualidade dos dados disponíveis, os custos na falha da detecção e a confiabilidade do conhecimento que o sistema tem sobre a ocorrência de cio.

Desta forma, quando um sistema de diagnóstico é desenvolvido, é importante que se avalie o poder classificatório do sistema, no caso, o poder em se classificar vacas que *estão* ou *não estão* no cio.

A metodologia de avaliação, aqui apresentada, está em consonância com a metodologia de avaliação da eficiência de diferentes sistemas de detecção de cios e mastites na literatura, como o de Firk et al. (2002) e De Mol et al. (2001) por exemplo.

2.8.2. Análise de Resultados Obtidos por um Classificador

Dado uma população definida de vacas que podem ou não estar no cio, um sistema de detecção de cio deve classificar um conjunto de vacas *no cio* e um outro conjunto de vacas *sem cio*. Para que se possa avaliar o poder discriminatório do sistema, é necessário conhecer o

verdadeiro diagnóstico para cada indivíduo por algum procedimento conhecido como padrão-ouro. A obtenção do verdadeiro diagnóstico de cio pode ser feita através da análise nas alterações fisiológicas relacionadas ao ciclo reprodutivo, como alteração da viscosidade do muco e da vulva, ou então a confirmação de que a vaca efetivamente esteve no cio com o diagnóstico de prenhez após a inseminação artificial.

O sistema de suporte a decisão deve diferenciar as vacas que estão no cio das que não estão. Só é possível saber se o sistema classificou corretamente as vacas *com cio* e *sem cio* comparando-se os resultados do sistema com o padrão-ouro. Para os resultados dados pelo sistema utiliza-se comumente o termo *positivo*, no caso de diagnóstico de *no cio* e *negativo* se o sistema calcula que a vaca não está no cio (*sem cio*).

Posteriormente, para que a eficiência do sistema seja avaliada, os resultados *negativos* e *positivos* são comparados com o padrão-ouro. As respostas são dadas em PF, PV, NF e NV, em que a primeira letra representa a resposta do sistema: *Positivo* ou *Negativo*) e a segunda letra é a verificação se a resposta foi *Verdadeira* ou *Falsa*. Caso a resposta do sistema seja *positivo* (no cio) este resultado é denominado Positivo Verdadeiro (PV) apenas se for verificado no padrão-ouro que a vaca verdadeiramente esteve no cio – tendo havido a certeza de que a vaca estava no cio. Se a resposta for *positivo* e pelo padrão-ouro a vaca não estava no cio, então resultado é denominado Positivo Falso (PF). Por outro lado, se a resposta for *negativo* para vacas que não estavam no cio, o resultado é Negativo Verdadeiro (NV). De forma análoga, resultados *negativo* para vacas que estavam no cio são Negativos Falsos (NF).

Observa-se no diagrama de Venn da Figura 2.10 uma ilustração dos casos de PF, PV, NF e NV para um universo vacas com ou sem cio.

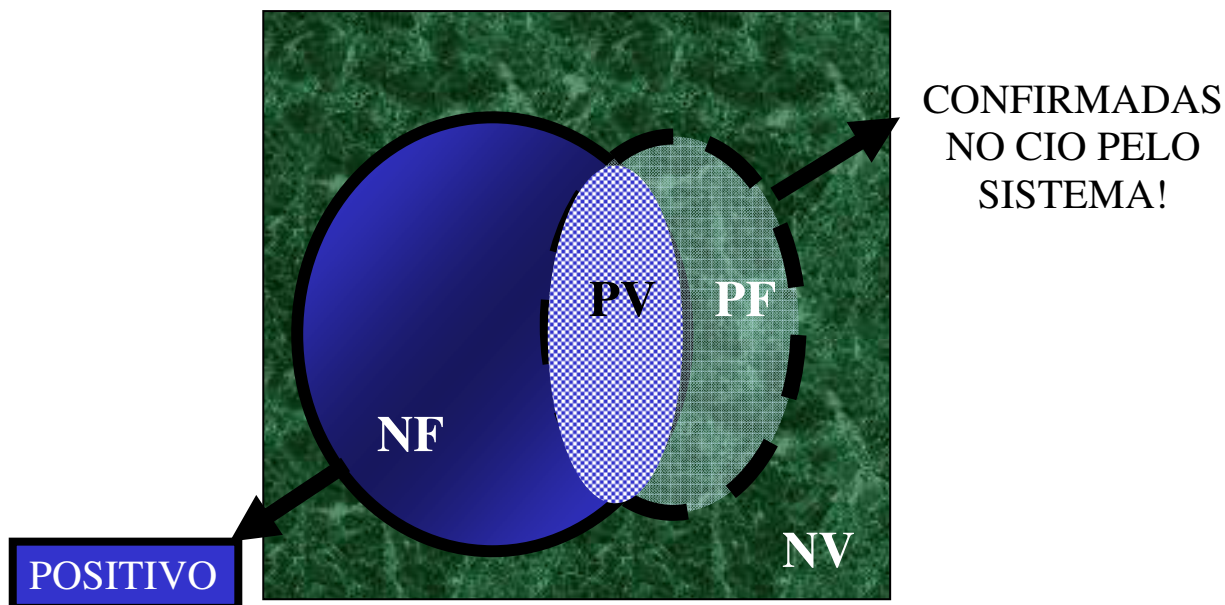


Figura 2.10. Ilustração do resultado de diagnóstico de confirmação de cio feito por um sistema numa população de vacas no cio ou sem cio.

2.8.3. Precisão, Sensibilidade, Especificidade e Erro

Tabela de Contingência

A visualização do desempenho de um teste pode ser feita com a confecção de uma tabela de contingência, mostrando de forma clara os resultados encontrados pelo classificador (sistema *fuzzy*) em comparação com o padrão-ouro (GOMES, 2002).

Dada uma população de vacas n e as somatórias dos resultados PF, PV, NF e NV encontrados confecciona-se a tabela de contingência (Tabela 2.1)

Tabela 2.1. Tabela de Contingência.

Padrão-Ouro	Resultado Positivo	Resultado Negativo	Total
-NO CIO-	$\sum PV$	$\sum NF$	$\sum PV + \sum NF$
-SEM CIO-	$\sum PF$	$\sum NV$	$\sum PF + \sum NV$
Total	$\sum PV + \sum PF$	$\sum NF + \sum NV$	n

Caso seja feita alguma melhoria no sistema *fuzzy*, modificando-se, por exemplo, o ponto de corte na defuzzificação, ponto este que distingue vacas “no cio” e “sem cio” a

tabela de contingência (Tabela 2.1) se altera por completo. Para que seja feita uma análise sobre a suposta melhoria no sistema *fuzzy* utiliza-se a curva ROC (descrita no item 2.8.4.) conjuntamente com medidas de desempenho de testes tais como a precisão, o erro, a sensibilidade e a especificidade, descritas no item que segue:

Precisão

A precisão dos resultados de um sistema classificador (como os resultados apresentados na tabela de contingência) é a medida mais abrangente sobre a avaliação do desempenho do sistema. Consiste na relação entre o número de acertos do sistema em relação ao número de casos avaliados.:

$$\text{Precisão Total} = \frac{\text{acertos}}{n} = \frac{\sum_i^n PV_i + \sum_i^n NV_i}{n} \quad (2.1)$$

Gomes (2002) define a precisão como uma medida padrão para verificar hipóteses, sendo também utilizada para avaliar a confiança do classificador em tomar decisões corretas. A limitação da precisão está no fato de ela não levar em consideração os casos em que o classificador retornou respostas falsas. Para o caso das vacas leiteiras que estão para entrar no cio, estima-se que apenas 5% dos dados correspondem a vacas no cio, pois uma vaca apresenta cio em apenas 1 dia a cada 21 dias. Assim sendo, pode-se obter uma precisão de 0,95 apenas fazendo com que todos os resultados do sistema sejam de *sem cio*. Isto não é nem um pouco atrativo, pois os resultados *com cio* são os mais importantes. Torna-se necessário a utilização dos cálculos de sensibilidade e especificidade:

Sensibilidade

Muitos autores que lidam com a detecção de cio, como De Mol (2000) e Firk et al. (2002) têm utilizado a equação 2.2 para o cálculo da sensibilidade.

$$\text{Sensibilidade} = \frac{\text{alertas corretos (alertas do tipo com cio)}}{\text{total de alertas para vacas verdadeiramente no cio}} = \frac{PV}{(PV + NF)} \quad (2.2)$$

A sensibilidade pode ser interpretada como a medida da probabilidade da classificação correta de vacas que verdadeiramente estão no cio. Em alguns casos a sensibilidade pode ser chamada de taxa de detecção. (FIRK et al., 2002)

A equação 2.2 leva em conta somente o conjunto de vacas que verdadeiramente

estavam no cio (de acordo com o padrão-ouro), e que posteriormente receberam alertas de *com cio* (PV) e sem cio (NF) do sistema *fuzzy*. A sensibilidade compara então os casos de resultados corretos de *com cio* (PV) com todos os resultados dados para as vacas que apresentaram cio. Ainda assim falta saber sobre a performance do sistema para os casos em que as vacas verdadeiramente não estavam no cio. Isto é feito com o cálculo da especificidade.

Especificidade

A especificidade é um cálculo muito importante para os classificadores automático de casos de cio, pois leva em conta a prevalência no número de casos de vacas que não estão no cio.

$$Especificidade = \frac{\text{alertas corretos (alertas do tipo sem cio)}}{\text{total de alertas para vacas verdadeiramente sem cio}} = \frac{NV}{(NV + PF)} \quad (2.3)$$

O cálculo da especificidade pode ser interpretado como a probabilidade de o sistema dar alertas negativos (*sem cio*) para as vacas que verdadeiramente não estão no cio. A sensibilidade compara os casos de resultados corretos de *sem cio* (NV) com todos os resultados dados para as vacas que não apresentaram cio.

Erro ou Taxa de Positivos Falsos

A taxa de erro, ou também chamada de taxa de positivos falsos, mostrada na equação 2.4 corresponde aos alertas incorretos dados para as vacas que não estavam no cio:

$$Erro = \frac{\text{alertas do tipo com cio incorretos}}{\text{total de vacas verdadeiramente sem cio}} = \frac{PF}{(NV + PF)} = 1 - Especificidade \quad (2.4)$$

A confiabilidade do sistema para o produtor de leite está diretamente relacionada ao valor do erro do sistema automático de detecção de cio. Este erro pode ser verificado utilizando-se as equações de especificidade e taxa de erro. Caso o erro seja grande, significa que o produtor recebe muitos alertas do tipo *com cio* quando as vacas verdadeiramente não estão. Isto é muito comum hoje em dia para os sistemas automáticos de detecção baseados apenas em incrementos na movimentação verificados por pedômetros, pois nem sempre a vaca se movimenta mais devido ao cio.

Assim, para que o sistema *fuzzy* seja eficiente, os valores de sensibilidade e

especificidade devem ser próximos a 100% e o valor da taxa de erro deve ser o mais próximo possível ao zero.

2.8.4. Curva ROC Clássica

A metodologia ROC (*Receiver Operating Characteristic*), criada na década de 50 na Teoria de Detecção de Sinais (GALPARSORO e FERNANDÉZ, 1998) tem sido amplamente utilizada na medicina humana para auxiliar a tomada de decisões clínicas. Na medicina veterinária, Detilleux et al. (1999) utilizaram ROC para avaliar a capacidade do teste de número de células somáticas (CCS) em discriminar vacas saudáveis de vacas com inflamação intramamária. Os autores verificaram que confecção da curva ROC permite uma visualização compreensiva da acurácia da utilização da CCS no diagnóstico de inflamação intramamária.

A curva ROC é uma representação gráfica da relação entre os diferentes valores de sensibilidade e de especificidade que um teste pode prover. É uma representação gráfica no plano cartesiano da fração positivo verdadeiro (sensibilidade) e a fração positivo falso (1-especificidade)

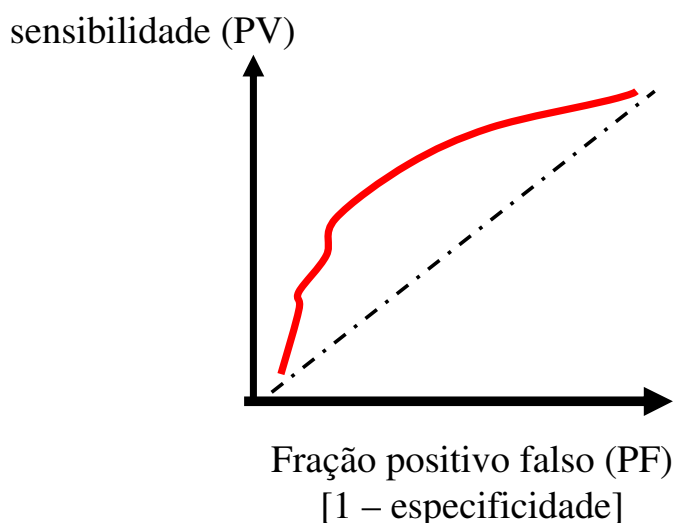


Figura 2.11. Ilustração de uma curva ROC.

Na etapa de defuzzificação, as variáveis lingüísticas são novamente transformadas em valores *crisp*. Assim, a partir dos dados de entrada o sistema *fuzzy* devolve um valor entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior é a certeza de que a vaca está no cio e menor

é a certeza o quanto mais próximo o valor estiver de zero (Figura 2.12).

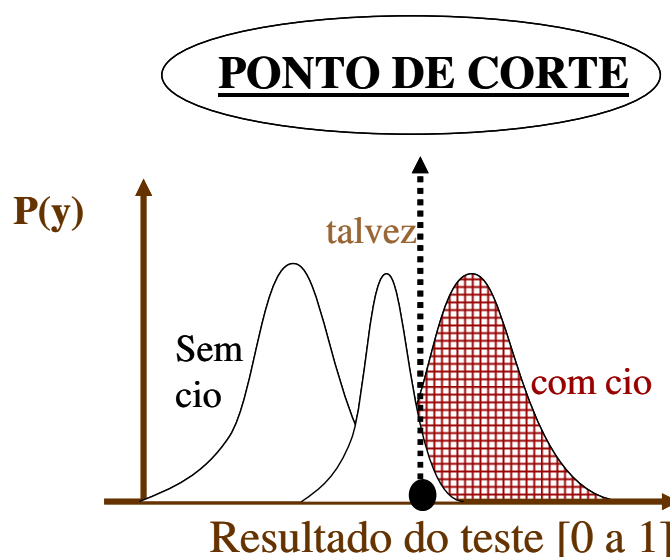


Figura 2.12. Ilustração do resultado do sistema *fuzzy*

Autores como De Mol (2000) entre outros utilizam o valor *crisp* de 0,5 como o ponto de corte que separa o diagnóstico de *com cio* do diagnóstico *sem cio*. É mais interessante, no entanto, verificar a influência da escolha do ponto de corte nos valores de sensibilidade e especificidade. Isto, pois, para cada ponto de corte escolhido, os valores de sensibilidade e especificidade se alteram; diminuindo o valor do ponto de corte por exemplo faz com que vacas que anteriormente haviam sido classificadas como *no cio* passem a ser classificadas como *talvez no cio* ou *sem cio*. Os alertas de *talvez no cio* não são considerados pois nestes casos o produtor de leite é o responsável em verificar a verdadeira ocorrência de cio.

A construção da curva *ROC* se dá justamente escolhendo diversos pontos de corte e verificando a sensibilidade e a especificidade encontrada para cada ponto. Cada ponto na curva construída corresponde a um ponto de corte escolhido. A intenção é escolher um ponto de corte ótimo de forma que o número de casos positivos verdadeiros e o de positivos falsos sejam adequados ao propósito do teste.

A área abaixo da curva *ROC* mostrada na Figura 2.13 é um bom indício sobre a capacidade do sistema *fuzzy* em detectar o cio considerando toda a amplitude da fração de FP.

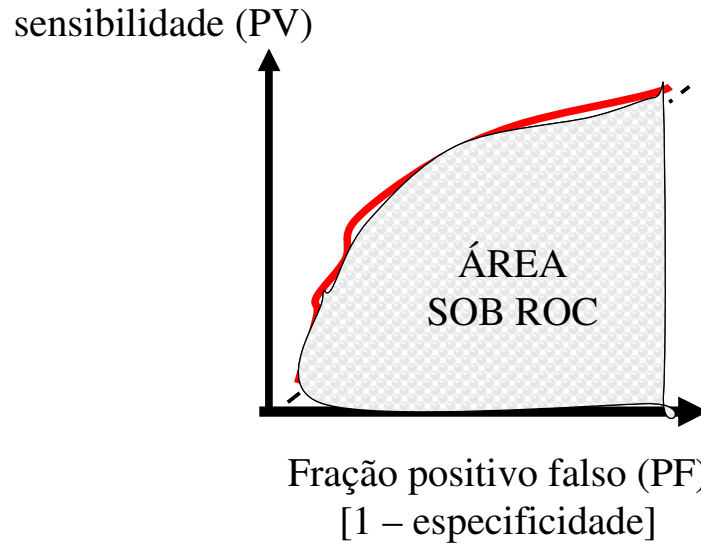


Figura 2.13. Gráfico ilustrando a área sob a curva ROC.

A interpretação da área sob a curva ROC se dá da seguinte forma: área pode assumir valores entre 0 e 1; quando a área é igual a 0,5 e a curva ROC se aproxima de uma reta a 45° significa que o classificador (sistema *fuzzy*) não é um bom classificador, tendo o mesmo poder que a classificação por mero acaso. Isto porque, no caso, tal reta caracteriza uma relação de 1:1 entre acertos e erros. O ideal é aumentar o número de acertos, e isso só é possível aproximando a curva do eixo das ordenadas (aumentando a relação entre a sensibilidade e o erro). Assim sendo, quanto mais próximo de 1 é a área, mais perfeito é o classificador. (BAMBER , 1975)

3. MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente apresenta-se uma descrição geral sobre o sistema fuzzy e posteriormente as 3 etapas necessárias para o seu desenvolvimento e validação em campo.

Descrição Geral do Experimento

Para o desenvolvimento do sistema *fuzzy* aqui proposto foi mister primeiramente extrair o conhecimento concernente a ocorrência do cio para então poder modelar o mecanismo de inferência (“pensamento”) do sistema. Após a construção do sistema, este foi ser testado em um rebanho comercial. Sendo assim, este capítulo está dividido em quatro segmentos. Em primeiro lugar apresenta-se uma descrição geral do sistema *fuzzy*, e depois, as três etapas para a validação do sistema.

O trabalho foi realizado no Laboratório de Conforto Térmico II da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.

Os experimentos em campo foram realizados fazenda Campestre – São Pedro - SP, com latitude de 22°32'55" Sul, longitude de 47°54'50" Oeste, altitude de 580m. O clima da região é quente e úmido, com altos índices de precipitação no verão, porém baixos no inverno e temperatura média anual de 22°C. A fazenda é produtora de leite e detentora de um rebanho de aproximadamente 750 vacas holandesas, sendo que em 2007 aproximadamente 350 destas vacas estavam em lactação durante o período experimental.

O período experimental para a coleta de dados e avaliação da performance do sistema *fuzzy* desenvolvido em campo, deu-se entre 15 de Janeiro a 15 de Agosto de 2007. Durante este período, dentre as vacas que estavam utilizando o pedômetro, 171 receberam diagnóstico de prenhez e 335 casos de cios foram observados pelos funcionários da fazenda.

A estratégia foi utilizar o sistema *fuzzy* criado para acompanhar por completo todas as manifestações de cio possíveis durante todo o período experimental. Foi interessante verificar os casos em que o sistema *fuzzy* seja capaz de identificar casos de cios que passaram despercebidos pelo corpo de funcionários especialistas da fazenda, o que se encontra nos resultados.

3.1. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA *FUZZY*

Sabe-se que o aumento no grau de atividade (passos por hora) de uma vaca é a melhor indicação de que a vaca está prestes a ovular. A estratégia aqui foi incorporar no sistema também informações sobre o calendário cíclico da vaca (que ovula aproximadamente a cada 21 dias) e informações sobre a aplicação de hormônios indutores de cio. A seguir, na figura 3.1 mostra-se a estrutura geral do sistema.

Conforme descrito no tópico 2.3 existem outros sinais que também poderiam ter sido utilizados para a detecção de cio, como produção, condutividade elétrica e taxa de fluxo de leite. No entanto, Firk et al. (2003) reportam que a utilização desta gama de dados não melhora a detecção de cio. Portanto, optou-se pela utilização dos dados de *atividade*, *indução por hormônios* e *Calendário do cio* dispostos na Figura 3.1. Estudou-se também a variável *temperatura crítica*, mas esta não foi incluída no sistema.

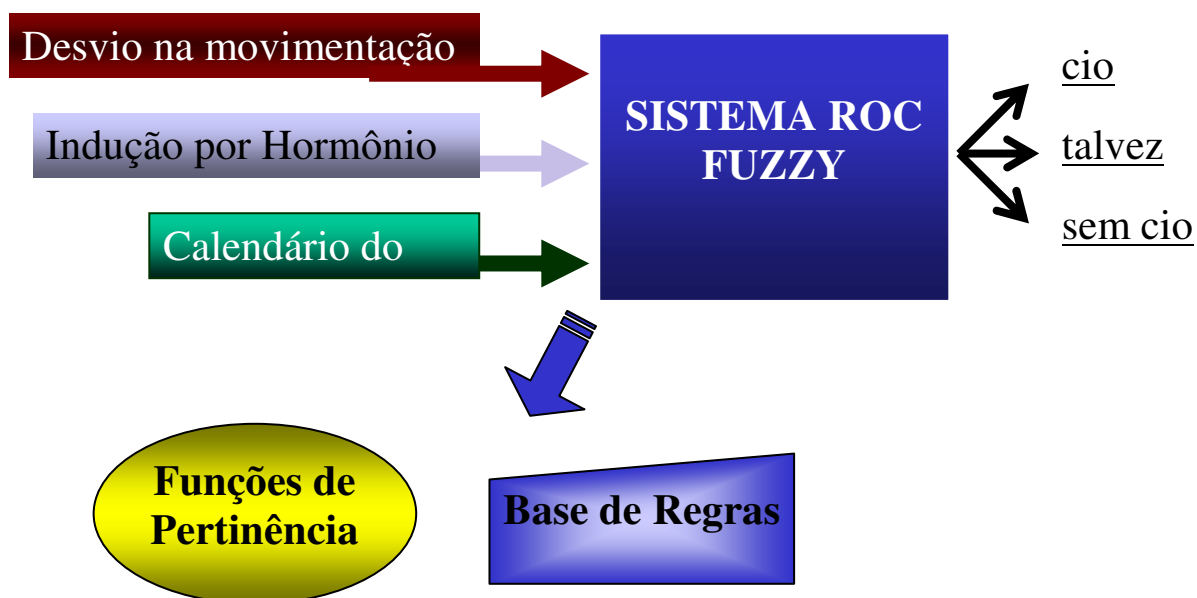


Figura 3.1 Estrutura geral do sistema *fuzzy* de detecção automática de cio.

A utilização de dados sobre a aplicação de hormônios indutores de cio (*prostaglandinas*) na detecção do cio é uma inovação deste trabalho. Não é do nosso conhecimento qualquer trabalho que tenha incorporado estes dados em sistemas automático de detecção de cio. A necessidade da utilização de dados sobre a aplicação de hormônios foi uma necessidade que surgiu através da prática de experimentação em campo. Foi

verificado que mensalmente diversas vacas têm o cio induzido e têm, portanto, o período entre cios alterado. Outro caráter inovatório está no fato de também não haver relatos literários sobre a criação de sistemas automáticos de detecção de cio no Brasil, mas somente no exterior de onde os equipamentos de ordenha, incluindo o pedômetro, são importados. Muitos trabalhos como o de Leite (2001) tratam da reprodução do gado leiteiro, porém não especificamente da área de detecção automatizada de cio, como aqui apresentado.

Observa-se na estrutura da Figura 3.1 que as respostas do sistema são dadas como: *com cio*, *talvez cio* e *sem cio*. A resposta *incerto*, ou *talvez*, foi criada a fim de diminuir os falsos alertas de cio, muito comuns em sistemas de detecção. A confiança para as respostas *com cio* e *sem cio* é obviamente maior não necessitando da averiguação do produtor.

O processamento das variáveis de entrada do sistema, bem como a transformação da informação sobre alteração na *movimentação* (atividade), *utilização de hormônios* e *calendário cíclico* foram baseadas no conhecimento adquirido na fase de extração de conhecimento, descrito a seguir, onde as funções de pertinência para cada variável são construídas.

Apresenta-se a seguir as três etapas que foram necessárias para o desenvolvimento e a validação do sistema *fuzzy*.

3.2. FASE 1: AQUISIÇÃO (EXTRAÇÃO) DE CONHECIMENTO

Para o desenvolvimento desta metodologia de detecção de cio, foi primeiramente necessário levantar informações sobre as variáveis relacionadas à ocorrência de estro, visando o desenvolvimento da base de conhecimento.

A obtenção da base de conhecimento é tida como o gargalo no desenvolvimento de sistemas inteligentes. Portanto, três fontes de conhecimento foram utilizadas. São elas:

- Consulta aos especialistas na detecção de cio;
- Consulta de material literário;
- Análise dos dados experimentais;

Sendo que estes dois últimos foram considerados os mais relevantes (conforme explicado no apêndice B)

3.2.1. Consulta aos especialistas

Como o sistema *fuzzy* deve tentar ao máximo “copiar” o pensamento do

especialista, diversos especialistas foram consultados a fim de gerar o conhecimento necessário.

Os especialistas foram consultados principalmente na obtenção de informações sobre a utilização dos pedômetros na detecção de cio e sobre a ocorrência do cio dentro do ciclo esperado de 21 dias. Os pedômetros marcam diariamente para cada vaca qual foi o desvio na movimentação apresentado. O desvio da movimentação padrão da vaca pode ser baixo, médio, alto ou muito alto. Os especialistas foram consultados a fim de se descobrir informações sobre a relação entre a manifestação do cio e os desvios marcados no pedômetro. Ademais, também foram obtidas através deles informações sobre a relação entre os desvios no pedômetro e o dia esperado do cio dentro do ciclo de 21 dias.

As informações coletadas pelos especialistas adicionadas às informações disponíveis na literatura serviram como adicionais para a confecção da base de regras e das funções de pertinência que processam os dados de entrada do sistema *fuzzy*.

O questionário aplicado aos especialistas e encontra-se no APÊNDICE B.

Os especialistas que mais colaboraram para a obtenção de informações referentes a manifestação do cio foram os funcionários da fazenda. Isto se deve ao fato de eles estarem diariamente lidando com as questões práticas do cio, e não somente com a fundamentação teórica. As informações dadas pelos funcionários eram sempre imprecisas, pois as respostas às perguntas eram sempre “a chance de estar no cio é grande” ou então em outros casos “a chance de estar no cio é pequena”. Informações assim nebulosas são ideais para o sistema *fuzzy*, que trata justamente de imprecisões.

3.2.2. Aquisição de Informações com Dados de Campo

Em campo, foram extraídas informações sobre as relações entre a manifestação do cio, a temperatura ambiente, a alteração na movimentação (passos/hora), as ações veterinárias para cada vaca e as datas em que elas foram verificadas no cio.

O conhecimento gerado com a coleta de dados em campo serviu para a confecção das funções de pertinência, que discriminam as variáveis lingüísticas, como por exemplo a variável *desvio na movimentação* pode ser discriminada em funções que definam desvios baixos, médios, altos e muito altos. Esta informação pode ser obtida utilizando-se intervalos

de confiança que sirvam como uma divisão entre as variáveis lingüísticas, mostrado na Figura 3.2. A palavra desvio contida nos gráficos de distribuição de probabilidade da Figura 3.2 refere-se à alteração percentual encontrada na movimentação em comparação com a movimentação padrão de cada vaca (detalhadamente descrita no item 3.4.2).

A confirmação da eficiência do conhecimento utilizado para a detecção do cio foi feita na validação do sistema *fuzzy* em campo. Nesta etapa de refinamento o sistema sofreu inúmeras alterações até a conclusão da sua versão final.

Dados sobre Movimentação x Temperatura

Com a intenção de verificar a influência da temperatura no padrão de movimentação das vacas foram coletados durante todo o período experimental dados sobre a temperatura ambiente dentro dos galpões free-stall, onde as vacas ficam confinadas.

Dados sobre os desvios na movimentação nos dias quentes e nos dias frios foram coletados em campo a fim de detectar alguma influência que poderia existir entre o estresse térmico e a manifestação do cio. O conhecimento foi gerado através de diagramas de distribuição de probabilidades e intervalos de confiança, como está mostrado na Figura 3.2.

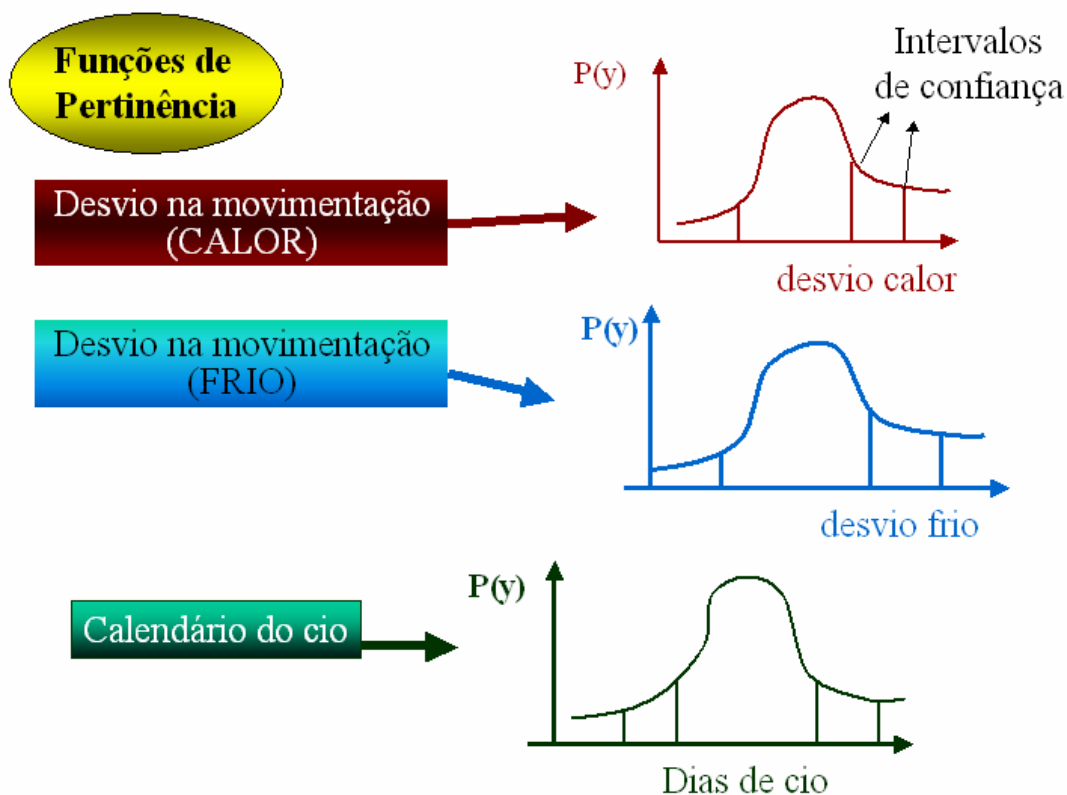


Figura 3.2 Estrutura geral do sistema *fuzzy* de detecção automática de cio.

Foi através da confecção de diagramas como os dispostos na Figura 3.2 que foi possível entender o comportamento de todas as variáveis estudadas, e não somente as de temperatura. Com os diagramas de probabilidade foi possível executar a extração do conhecimento em campo.

Dados sobre Calendário de Ciclo Estral

Está disponível no banco de dados informações completas sobre a ocorrência de 335 casos de cios verificados no período experimental que podem ser utilizados para o estudo do calendário cíclico da vaca, em que pretendeu-se inicialmente verificar a ocorrência de cios fora do padrão normal de 21 dias. Entretanto, não é indicado a utilização de todo o banco de dados para a aquisição do conhecimento, pois a maior parte do banco de dados deve ser utilizada para a validação do sistema *fuzzy* criado. A solução encontrada foi a de utilizar os dados de calendário de ciclo estral somente das vacas que não estavam equipadas com pedômetro, e que portanto não servem para a validação do sistema *fuzzy*. Portanto, conforme

mostrado na Tabela 3.1, estão disponíveis os dados de 108 casos de cios dentre as vacas que não possuíam pedômetros com marcador de atividade e que podem ser utilizados para o fim acima apresentado.

Dados sobre Aplicação de Hormônios indutores de cio

Na fazenda utiliza-se o medicamento CIOSIN®. Segundo a própria bula do medicamento, após a aplicação do medicamento a vaca é esperada no cio entre o terceiro ao décimo primeiro dia.

3.3. FASE 2: DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA *FUZZY*

Após a formação da Base de Conhecimento foi desenvolvido um sistema *fuzzy* capaz de detectar o cio utilizando-se uma base de dados do passado e do presente de cada uma das vacas.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do sistema *fuzzy* está baseada nas pesquisas já desenvolvidas por Firk et al. (2003) e De Mol (2001), entretanto com inovações principalmente referente ao tratamento dos dados de movimentação (descrita no item 3.4.2) e à utilização de dados sobre aplicação de hormônios indutores de cio.

Foram utilizadas ferramentas computacionais como o Microsoft EXCEL e o software MATLAB® para tratamento dos dados e confecção das tabelas. O recurso “*fuzzy*” contido no toolbox do MATLAB® foi a principal ferramenta para o desenvolvimento do sistema *fuzzy*.

O sistema *fuzzy* criado foi testado a partir da coleta de dados de teste em campo realizada entre 15 de Janeiro e 15 de Agosto de 2007. A descrição da coleta dos dados e dos testes são mostradas a seguir.

3.4. COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS UTILIZADOS

3.4.1. Coleta dos Dados de Movimentação de Cada Vaca

As vacas possuem um pedômetro na sua pata frontal direita, que registra a quantidade de passos de cada vaca, mostrado na figura 3.3.



Figura 3.3. Foto do momento de leitura do pedômetro. Antena situada no piso na porta de entrada da Ordenha (Fazenda Campestre, 2006)

O software do sistema automático de ordenha utilizado na fazenda está integrado ao pedômetro e armazena as informações de movimentação verificado para cada vaca em cada ordenha. Aproximadamente 70% das vacas em lactação possuem o equipamento funcionando com o marcador de passos. O funcionamento do sistema se dá da seguinte forma:

A antena instalada na entrada da ordenha detecta o pedômetro (Figura 3.3), este por sua vez, fornece ao sistema o número da vaca que o carrega e o número de passos dados no período entre as ordenhas. O número de passos é um valor contado pelo aparelho varia entre de 0 a 999. Se na ordenha das 3:00 ele registra, por exemplo, um número de 565 e na próxima ordenha às 10:00 ele registra 600, significa que a vaca andou 35 passos ($600 - 565 = 35$) em 7 h ($10 - 3$ h), resultando em uma atividade de 5,0 passos/hora ($35/7 = 5,0$).

Vale ressaltar que os pedômetros são utilizados na fazenda apenas para fins de manejo de ordenha, sendo ocasional os casos em que são utilizados na detecção de cios. Na fazenda, somente após o parto que a vaca recebe o pedômetro com o marcador de atividade, isto para que os dados de atividade do pedômetro possa auxiliar os funcionários na detecção de cio.

3.4.2. Tratamento dos Dados sobre Movimentação

O padrão de atividade que a vaca apresenta depende de seu ritmo diurno. A fim de compensar tal efeito, a atividade horária para cada ordenha é calculada baseando-se na diferença entre a coleta de valores referentes a duas medidas (acumulativas e variando de 0 a 999) (DE MOL, 2000).

Variações no grau de atividade ou durante o estro podem ser detectadas comparando-se o valor de um período de referência. Como valores de referência podem ser usados as médias de atividade nos dias anteriores, valores das outras vacas fora do cio ou então, valores do período de estro de todas as vacas (FIRK et al., 2002).

A forma aqui utilizada para o alerta na detecção do cio foi aquela que compara alterações no valor da atividade com valores de medidas anteriores da mesma vaca e não das outras (FIRK et al., 2002). A utilização de modelos de séries temporais do tipo movimentação média é tida como o método padrão atual para o monitoramento de produção de leite, presença de doenças e detecção do cio em rebanhos leiteiros. Este modelo consiste na previsão de um valor baseado na média dos valores medidos em um determinado período de tempo no passado (MELE et al, 2001).

A série temporal para o cálculo da média de movimentação utilizada foi baseada em Firk et al. (2002). O autor considerou os valores de movimentação medidos para a vaca nos últimos dez dias; neste trabalho, entretanto, utilizar-se-á apenas uma média de 8 dias. Assim, conforme proposto por Firk et al. (2003) tem-se a previsão de movimentação para a ordenha calculada como segue:

$$Y_{8+1} = \sum_{t=1}^8 \frac{Y_t}{8} \quad (3.1)$$

Este cálculo serve para comparar a média da movimentação da vacas com a leitura da movimentação na ultima ordenha (Y_{8+1}). Y_t é a movimentação obtida na última ordenha. A diferença entre o valor medido na ordenha e o valor previsto (Y_{8+1}) é reportado como a porcentagem de desvio na movimentação. Em López-Gatius et al. (2003) o incremento na movimentação era analisado comparando a média de apenas dois dias anteriores. A vaca era inseminada se o seu incremento era maior que 80%. Os autores também tinham o cuidado de comparar os incrementos atuais com os incrementos verificados nos cios passados apresentados por cada vaca. Entretanto verifica-se que uma desvantagem de seu sistema é uma alta taxa de erros, pois vacas com pequenos incrementos e histórico de incrementos de 400% por exemplo, não eram inseminadas.

Entretanto, com o andamento dos experimentos em campo, verificou-se que a utilização do cálculo disposto em (3.1) mostrava-se um tanto ineficiente para as vacas que

apresentavam níveis de movimentação muito variantes. Com isto, o sistema constantemente apresentava alertas positivo-falso. Foi baseado neste problema que pensou-se na criação de uma série temporal que calculasse o incremento na movimentação (baseado nos 8 últimos dias), em que a variação (desvio padrão) nos dados fosse de uma certa forma descontada. Criou-se então a seguinte série temporal para cálculo dos desvios na movimentação:

$$incremento = \frac{(hoje - média) * 100}{média} - \frac{desv.padrão * 100}{média} =$$

Ou, matematicamente:

$$\Delta Y_{8+1} = \frac{Y_{8+1} - \bar{Y}}{\bar{Y}} * 100 - \frac{\sum_{t=1}^7 \sqrt{\frac{(Y_t - \bar{Y})^2}{6}}}{\bar{Y}} * 100 =$$

$$\Delta Y_{8+1} = \frac{Y_{8+1} - \sum_{t=1}^7 \frac{Y_t}{7}}{\sum_{t=2}^7 \frac{Y_t}{7}} * 100 - \frac{\sum_{t=2}^7 \sqrt{\frac{\left(Y_t - \sum_{t=2}^7 \frac{Y_t}{7}\right)^2}{6}}}{\sum_{t=2}^7 \frac{Y_t}{7}} * 100 \quad (3.2)$$

Sendo,

Y = movimentação verificada [passos por hora];

Ȳ = média dos últimos 8 dias [passos por hora];

ΔY₈₊₁ = o incremento na movimentação que se deseja calcular [%].

Note que o dia anterior (dia 8) ao dia analisado (dia 9) não está incorporado na fórmula para o calculo das médias e do desvio padrão. Estes são calculados baseando-se na movimentação encontrada entre os dias 1 até o dia 7. Optou-se por não incluir o dia 8 justamente porque em muitos casos ocorre de o dia 9 ser um dia de cio, com movimentação fora do padrão. Assim, caso o dia 9 também seja de cio, com desvio na

movimentação fora do padrão, o dia 8 não deve ser usado, pois se assim fosse, a verificação do nível de desvio da média do dia 9 estaria comprometida.

Como exemplo de tratamento dos dados da movimentação apresenta-se os seguintes dados de movimentação [passos/hora] encontrados para a vaca 1630 do experimento (Tabela 2.2)

Tabela 2.2. Exemplo de cálculo do aumento na movimentação média do dia 9. O aumento (ou incremento) encontrado neste dia foi de 186% em relação aos outros dias.

DIA	9	8	7	6	5	4	3	2	1
[passos/hora]	17,8	20,2	4,4	7,4	4,2	3,8	5,2	3,8	9,5
desvio padrão	2,17								
média	5,5								
Incremento [%]	+186								

Neste exemplo, baseando-se nos dias anteriores (dia 1 ao dia 7) foi possível verificar com a utilização da série temporal em 3.2, que no dia 9 a vaca apresentou um incremento na movimentação média de **186%** (aumento este quase duas vezes superior ao aumento médio), o que caracteriza um estado de cio. Observe que se o dia 8 fosse incorporado nos cálculos (o que não foi feito mas foi feito em Firk et al. (2002), De Mol (2000) e López-Gatius et al. (2005)), o incremento no dia 9 seria de apenas 67%, valor este mascarado pelo incremento do dia 8.

Assim sendo, de acordo com os cálculos mostrados no exemplo, a fórmula apresentada em 3.2 mostrou-se a mais indicada para o tratamento dos dados de movimentação. Neste trabalho, foi considerado que se a alteração na movimentação excedesse em mais de 60% o valor médio calculado para os últimos oito dias, a vaca teria grandes chances de estar no cio.

3.4.3. Coleta dos Dados de Ações Veterinárias (Dias do Ciclo Estral)

A fazenda Campestre possui um rigoroso acompanhamento do manejo reprodutivo do seu rebanho. Um banco de dados disponível nos arquivos da fazenda mostra todas as ações veterinárias pertinentes a cada vaca. Para a vaca de número 1396, por exemplo, é possível verificar dentro do período de Janeiro a Agosto de 2007 as datas dos 4 cios apresentados, os cios que resultaram em inseminação e a data quando ela recebeu o implante CIDR para IATF.

Assim sendo, foi levantado um banco de dados para as 166 vacas do experimento (Tabela 3.1).

Cabe aqui colocar o protocolo de IATF utilizado na fazenda. O implante CIDR utilizado



Figura 3.4. Implante CIDR para prática da IATF.

Para a realização da IATF primeiramente a vaca é medicada com 2 ml de *ESTROGIN*® (hormônio GnRH) e recebe o implante de plástico com cabo azul (conforme mostrado na Figura 3.4.) e permanece com o aparato dentro da vagina por 8 dias. Após este período recebe 2ml de prostaglandina, e em seguida, após 48 h 1 ml de *FERTAGIL*® (também GnRH). Por fim, 8 h após a última aplicação de GnRH a vaca deve ser inseminada.

3.4.4. Tratamento dos Dados Sobre os Dias do Ciclo Estral

O ideal para se ter certeza da data em que a vaca esteve no cio é fazer um exame diário para cada vaca sobre a concentração de progesterona no leite (FIRK et al., 2002). Entretanto, neste experimento, esta tarefa mostrou-se inviável, devido ao seu elevado custo e mão de obra. Então como é possível ter certeza de que as datas em que os funcionários observaram as vacas no cio verdadeiramente correspondem à ocorrência de cio? A ilustração da Figura 3.5 mostra o período de ocorrência do ciclo estral, o que gera informações sobre as datas previstas para os cios.

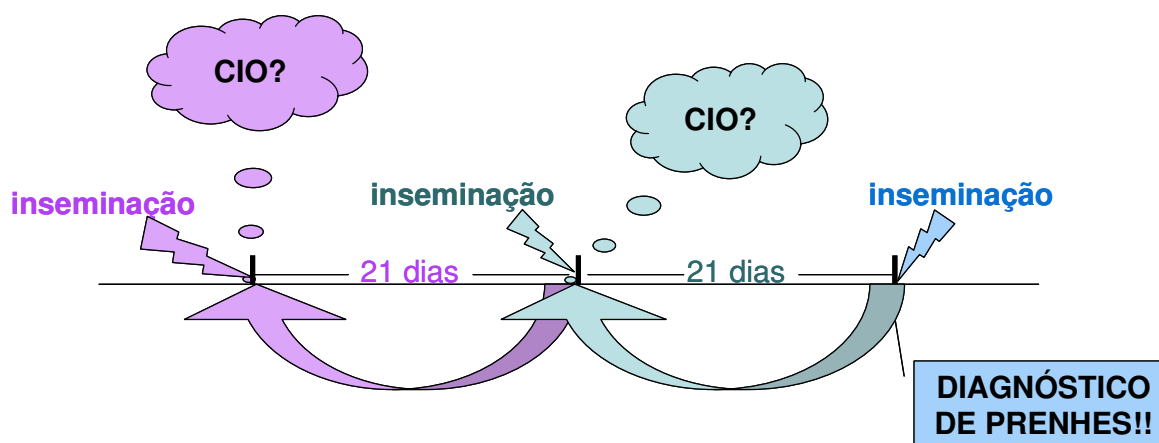


Figura 3.5. Ilustração sobre como os casos de cio eram confirmados.

Há a certeza de que a vaca encontrava-se no cio na data da última inseminação, já que esta foi identificada como Prenhe posteriormente. Verifica-se na ilustração da Figura 3.5 que os dois casos de cios, anteriores ao diagnóstico de Prenhez, são verdadeiramente casos de cio pois ocorreram dentro do período normal de aproximadamente 21 dias. Soma-se a isso o fato de o experiente corpo de funcionários da fazenda confirmar os casos de cios analisando cuidadosamente cada vaca suspeita, o que aumenta ainda mais a confiabilidade de que houve presença do cio.

Outra vantagem em se utilizar esta metodologia está na possibilidade de o sistema encontrar casos de cios que passaram despercebidos pelos funcionários. A partir da confirmação de um caso de cio obtido pelo diagnóstico de prenhez, o esperado é que cios anteriores a este tenham ocorrido dentro do ciclo de aproximadamente 21 dias.

Na Tabela 3.1 são mostrados todos os casos de cios e de diagnóstico de Prenhez verificados durante o período experimental.

De acordo com o que foi explicado no item 3.2.3, os dados das vacas que possuíam pedômetros com marcador de atividade (passos/h) foram selecionados para a validação do sistema *fuzzy* criado, enquanto que os dados das vacas sem o pedômetro foram selecionados para a extração do conhecimento relativo aos dias do calendário cíclico das vacas.

Concluindo, neste estudo, afim de garantir a presença de cio nas análises, foram desprezados os dados de cios das vacas que não ficaram prenhes durante o período de coleta de dados. Foi como se as vacas que não ficaram prenhes não existissem na fazenda. Utilizou-se apenas os dados de cios das vacas que ficaram prenhes.

Tabela 3.1. Potencial de coleta de dados na fazenda no período experimental (15 Janeiro a 15 de Agosto de 2007) .

MÊS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	TOTAL
nº cios (vacas c/ pedômetro)	21	22	16	32	55	104	18	0	267
nº cios (vacas s/ pedômetro)	20	22	23	10	15	18	0	0	108
TOTAL DE CIOS	34	34	32	36	63	118	18	0	335
nº vacas prenhes (c/ pedômetro)	9	13	7	15	19	35	4	0	98
nº vacas prenhes (s/ pedômetro)	11	9	16	7	14	11	0	0	68
TOTAL DE CASOS DE PRENHEZ	20	18	23	22	33	46	4	0	166

É por esta razão que para o teste do sistema *fuzzy* foi possível a utilização dos dados de apenas 98 vacas no rebanho total de 750 vacas, pois apenas 98 vacas (com pedômetro) foram confirmadas prenhes durante os meses de Janeiro a Agosto de 2007 (Tabela 3.1).

3.4.5. Coleta dos Dados de Temperatura

Diariamente foram registrados dados de temperaturas mínimas e máximas dentro do galpão. Os dados são coletados pelos funcionários e armazenados em planilhas do Microsoft Excel.

Temperaturas acima de 26° C foram consideradas como críticas para o estresse térmico (Berman et al, 1985).

3.3. FASE 3: VALIDAÇÃO DO SISTEMA EM CAMPO

A validação da eficiência do sistema *fuzzy* desenvolvido foi feita na fazenda Campestre, conforme anteriormente detalhada.

A avaliação do desempenho do sistema foi feita de acordo com os critérios apresentados no tópico 2.8. do capítulo da Revisão Bibliográfica. Abaixo segue uma descrição sobre a fazenda e sobre a coleta de dados da validação.

O sistema *fuzzy* foi avaliado analisando-se quase 25 mil possíveis casos de cios verificados durante o período experimental. Isto equivale a 6 meses de acompanhamento da detecção de cio do rebanho leiteiro da Fazenda Campestre, que já foi considerada pelo levantamento das Top 100 em 2005 do site milkpoint como a 26º maior produtora de leite do Brasil. Os dados dos 6 meses de acompanhamento foram coletados dentro do período experimental entre 15 de Janeiro e 15 de Agosto de 2007.

Na Tabela 3.2 é mostrado um exemplo da relação do banco de dados existente.

Tabela 3.2. Amostra dos quase 25000 dados das 103 vacas do experimento e exemplo de resultados do sistema *fuzzy*.

Resultados do sistema fuzzy.

DATAS DO CIO						
23/5/2007	14/6/2007					
Exemplo de dados da vaca 1717						
ORDENHA	cio	ULT.CIO	ativ. [passos/h]	DESVIO[%]	FUZZY	ALERTA
15/6/07 7:47 PM		2	3,9	10,04	0,1	SEM CIO -NV
15/6/07 12:54 PM		2	2,3	17,01	0,1	SEM CIO -NV
15/6/07 5:11 AM		1	1,6	41,01	0,1	SEM CIO -NV
14/6/07 7:57 PM		1	2,3	11,16	0,1	SEM CIO -NV
14/6/07 12:55 PM		1	2,8	5,44	0,1	SEM CIO -NV
14/6/07 5:11 AM		0	2,3	10,92	0,1	SEM CIO -NV
13/6/07 8:09 PM	**CIO**	22	5,3	106,19	0,6	*COM CIO -PV*
13/6/07 1:03 PM	**CIO**	22	9,1	212,60	0,8	*COM CIO -PV*
13/6/07 5:21 AM	**CIO**	22	10,3	189,69	0,8	*COM CIO -PV*
12/6/07 7:37 PM		21	2,5	34,82	0,1	SEM CIO -NV
12/6/07 12:51 PM		21	2,7	25,39	0,1	SEM CIO -NV
12/6/07 5:08 AM		20	2,3	34,95	0,1	SEM CIO -NV
11/6/07 8:08 PM		20	3,2	8,43	0,1	SEM CIO -NV
11/6/07 1:03 PM		20	3,2	8,02	0,1	SEM CIO -NV

Para cada ordenha estão disponíveis (na sequência da esquerda para a direita) os dados sobre: o horário e o dia da ordenha; a verificação de cio pelos funcionários (coluna “CIO”); os dias desde o último cio verificado (coluna “ULT.CIO”) – repare que a vaca 1717 apresentou cio dentro do período esperado de 21 dias; a atividade (coluna “ativ. [passos/hora]”); a alteração na atividade segundo média dos 8 dias anteriores (coluna “DESVIO[%]”); o número *fuzzy* que identifica a resposta do sistema *fuzzy* criado (coluna “FUZZY”); por fim a avaliação do sistema *fuzzy*, que pode ser PV (positivo-verdadeiro), PF (positivo-falso), NV(negativo-verdadeiro) ou NF(negativo-falso).

A validação do sistema foi feita a partir do número de respostas PV, PF, NV e NF, segundo os critérios apresentados no item 2.8.4. do tópico 2.8.

O ponto de corte para a separação das vacas entre “*com cio*” e “*talvez cio*” das “*sem cio*” foi feito a partir da análise da curva ROC. Os seguintes intervalos foram considerados para a obtenção das respostas PV, PF, NV e NF, feitas baseando-se no valor encontrado na coluna “FUZZY” da Tabela 3.2:

- Alerta “com cio” – para respostas do sistema entre 0,39 e 1,00;
- Alerta “talvez cio” – para respostas do sistema entre 0,19 e 0,39;
- Alerta “sem cio” – para respostas do sistema entre 0 e 0,19;

Considerando o alerta dado na coluna “ANALISE” foi verificado se o alerta era verdadeiramente correto, podendo ele ser classificado em PV, PF, NV e NF.

3.3.1. Rebanho e Tipo de Ordenha da Fazenda

O rebanho comercial de gado Holandes da propriedade é confinado no sistema intensivo freestall com dois galpões. Os galpões apresentam as seguintes características construtivas: 80m de comprimento e 28 m de largura, laterais abertas, orientação leste-oeste, corredor central de 3,0m. O piso é de concreto com ranhuras de 0,5cm espaçadas 7,0 cm entre si. O free-stall está equipado em toda sua extensão com aspersores montado a 2,5m acima da linha de alimentação. Os ventiladores estão afixados a uma altura de 2,5m e espaçados a cada 11m.

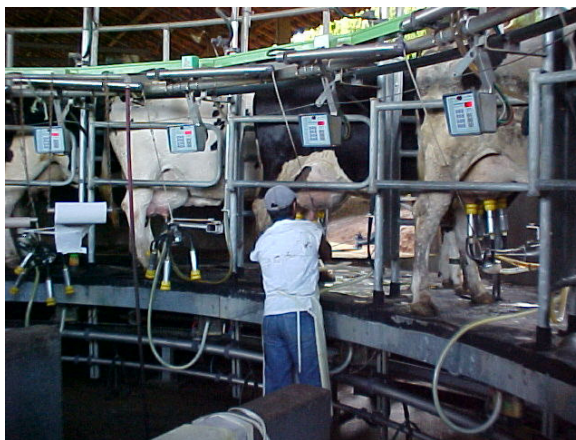


Figura 3.6. Foto do Carrossel da fazenda. Ordenha simultânea de 18 vacas. (Fazenda Campestre, 2005)

A ordenha é feita com um sistema do tipo carrossel. Neste sistema é possível realizar a ordenha simultânea de 18 vacas (Figura 3.6), sendo a mesma totalmente automatizada.

São realizadas três ordenhas diárias. A primeira as 3 h, a segunda às 10h e a terceira às 17 h. A fazenda está equipada com uma ordenha mecânica WESTFALIA®. Todas as vacas em lactação carregam em uma de suas patas dianteiras um aparelho chamado pedômetro. Todavia, aproximadamente 30% das vacas possuem pedômetros sem o marcador do número de passos por hora apresentado pelas mesmas. Assim que as vacas entram no carrossel de ordenha, uma antena lê cada um dos pedômetros e transfere os dados para um computador.

Para o início da coleta dos dados foi necessário reconfigurar o software a fim de que o mesmo armazenasse os dados dos pedômetros por um período de 6 meses (período experimental), e não apenas 2 como na configuração inicial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se aqui os resultados obtidos em cada uma das 3 etapas envolvidas: primeiramente os resultados da aquisição de conhecimento, depois o desenvolvimento do sistema *fuzzy* e por fim a validação em campo.

4.1. FASE 1: AQUISIÇÃO (EXTRAÇÃO) DE CONHECIMENTO

4.1.2. Levantamento de dados em campo

Durante o período experimental foram também coletados dados sobre movimentação, temperatura ambiente e dias de ciclo estral para extração de conhecimento. Cabe repisar que estes dados foram coletados separadamente aos dados de validação do sistema.

Dados sobre Movimentação x Temperatura

Na Tabela 4.1. são mostradas as médias de temperaturas observadas durante os meses do experimento.

Tabela 4.1. Dados Climáticos coletados dentro dos galpões da fazenda obtida em 2007.

MÊS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
média máx [°C]	29,1	30,5	29,0	28,9	24,9	25,2	23,0	25,8
média Min [°C]	22,3	22,3	19,4	19,0	15,6	14,8	14,2	14,1
temp. média [°C]	25,7	26,4	26,1	24,2	20,1	20,1	18,5	20,0

Diferentemente do que ocorreu no ano de 2006 na fazenda, no ano de 2007 a média das máximas e a média das mínimas verificada nos quatro primeiros meses do ano são muito superiores do que aquelas encontradas nos quatro outros meses. Esta diferença permite que os dados de movimentação das vacas durante este período possam ser comparados e com isso verificar se há diferença estatística no padrão de movimentação nos meses quentes em relação aos meses frios.

Os meses de Janeiro a Abril foram considerados como período *quente* e os meses de Maio a Agosto como período *frio*. Para cada vaca foram calculadas as médias de movimentação para ambos os períodos. A movimentação média (passos por hora) dos meses quentes menos a média encontrada para o período frio é mostrada no diagrama da

Figura 4.1., onde cada barra corresponde a diferença na movimentação em porcentagem entre os períodos para cada vaca.

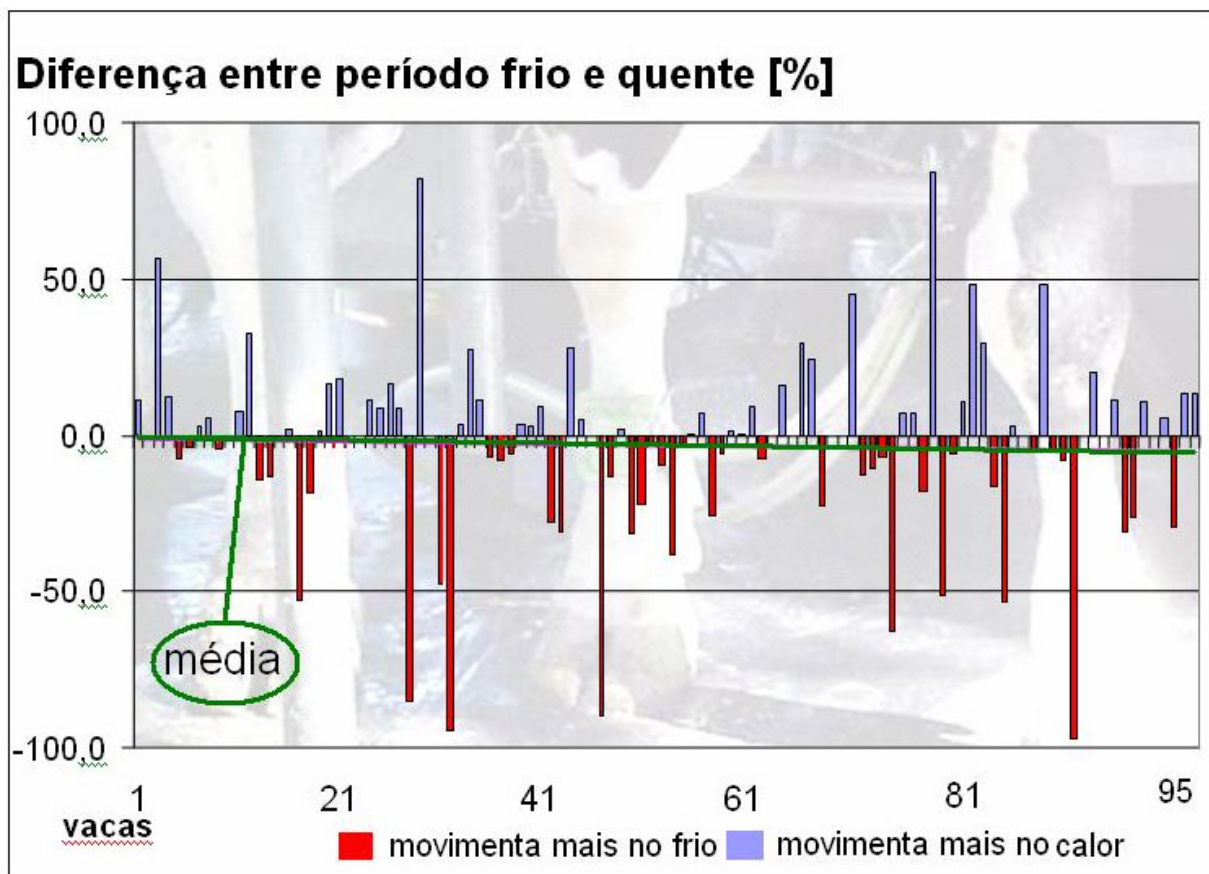


Figura 4.1. Diagrama das diferenças nas médias de movimentação (dias quentes menos os dias frios para as 95 vacas estudadas

Note que certas vacas apresentaram uma diminuição na movimentação nos meses *frios*, gerando médias até duas vezes menores (100%). Contudo, houve também casos opostos, onde houve um significativo aumento na movimentação nos meses *frios* (-100%). No diagrama da figura em questão foi colocada uma linha de tendência, sendo que esta se encontra bem próxima da linha do zero. A diferença encontrada para a movimentação entre o período *quente* e *frio* foi de -3,4%, com o altíssimo desvio padrão de 31,1%.

Considerando os fatos acima expendidos, concluiu-se que neste experimento não foram verificadas diferenças significativas entre o padrão de movimentação entre os meses *quentes* e os *frios*. Desta forma, optou-se por não incluir dados climáticos no sistema *fuzzy*.

Entretanto cabe colocar que este estudo não foi suficiente para se garantir que a vaca não altera seu padrão de movimentação com o calor. Isto porque, apesar de os dados climáticos terem sido coletados dentro do galpão e próximo as vacas, o sistema de aspersão esteve sempre operante na fazenda. Por causa da atuação dos sistemas de resfriamento os dados podem ter sido mascarados, o que não permite conclusões definitivas a respeito do assunto.

Dados sobre Movimentação

Para se saber qual a porcentagem de incremento na movimentação típico de cio é necessário um estudo estatístico sobre o comportamento normal de uma vaca verificado por um pedômetro [passos/hora]. Na Figura 4.2 observa-se que a movimentação de uma vaca possui uma distribuição normal.

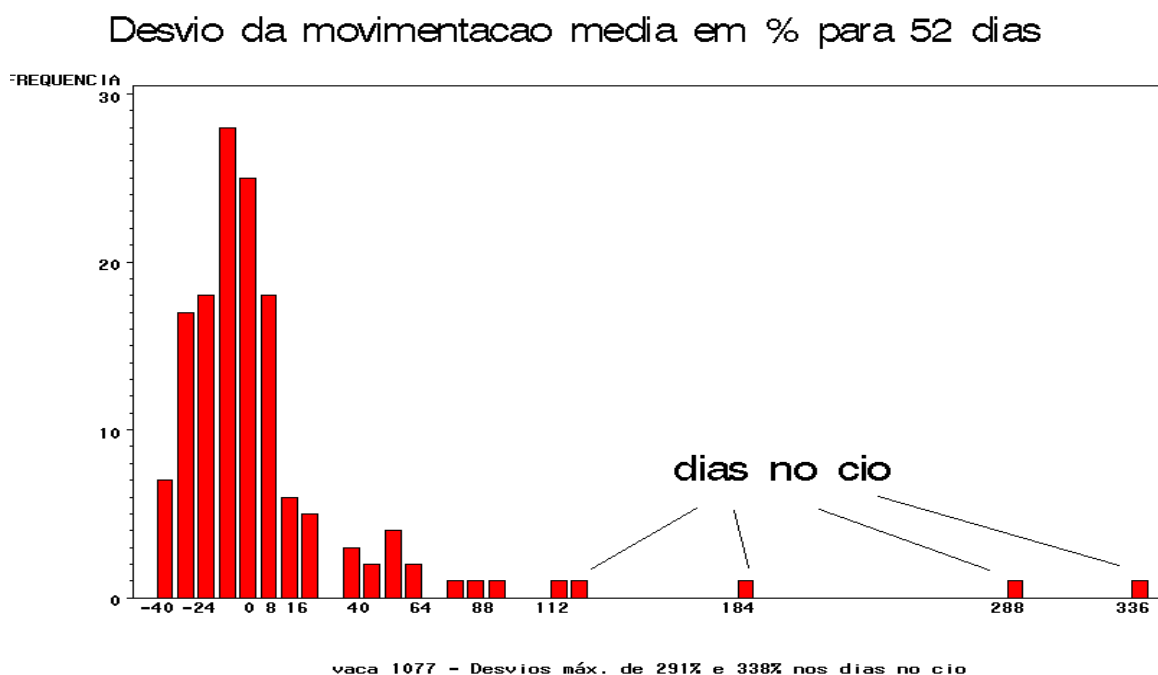


Figura 4.2. Diagrama de frequência de atividade para a vaca número 1077.

A vaca 1077 da Figura 4.2 assim como nos casos de outras vacas verificadas, apresenta uma alteração muito grande na sua movimentação durante os dias de cio. Foi verificado um desvio máximo de 336 % ($P < 0,001$) em relação aos dias onde não há cio (desvio igual a 0% pois a vaca se movimenta conforme a média diária).

A verificação dos padrões de movimentação e dos desvios verificados

durante o período de cio permitiu que se definisse as seguintes tolerâncias nos incrementos da movimentação para caracterização do estado de cio:

- incremento entre 0 e 20% são “MUITO BAIXO”;
- incremento entre 20 e 60% são “BAIXO”;
- incremento entre 60 e 130% são “MÉDIO”;
- incremento maiores que 130% são “ALTO”;

Estas informações foram úteis para a confecção das funções de pertinência da variável movimentação.

Dados sobre Dias entre cios

Para a extração do conhecimento sobre o intervalo entre as manifestações de cios das vacas holandesas da fazenda foram coletados os dados de calendário cíclico de 108 vacas que não possuíam pedômetros. Estes dados são diferentes dos dados utilizados no experimento para o teste do sistema *fuzzy* desenvolvido. O diagrama da Figura 4.3 mostra a probabilidade encontrada de ocorrência de cio para os diferentes dias após o último cio verificado.

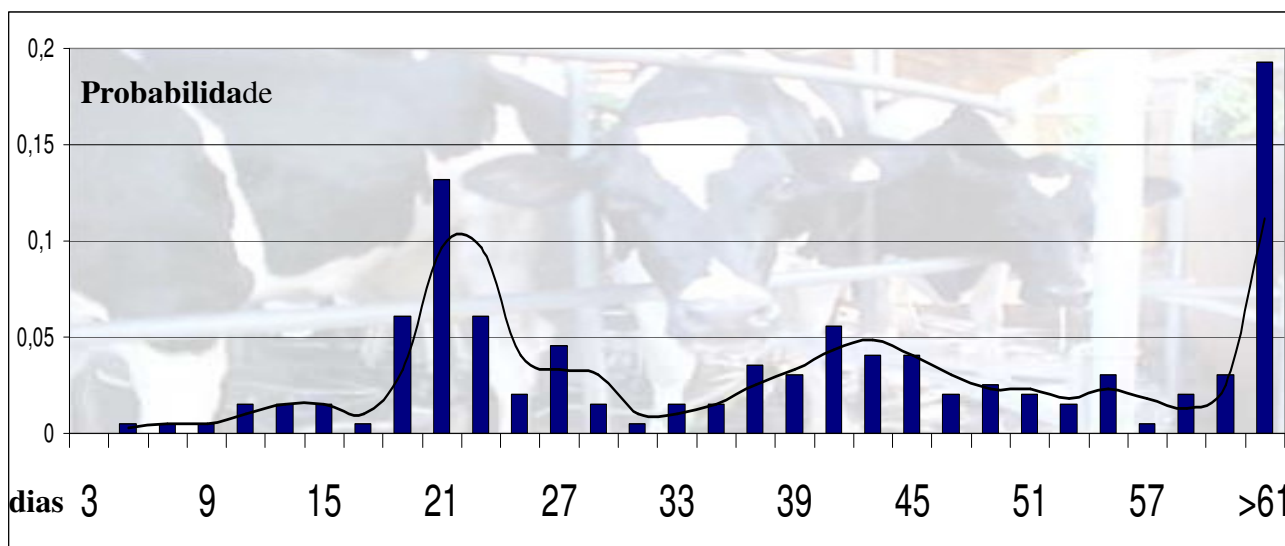


Figura 4.3. Intervalo entre cios para as 108 vacas analisadas .

É bem sabido que uma vaca ovula a cada 21 dias. O objetivo aqui é descobrir qual a variação encontrada para os períodos cíclicos para diferentes vacas, pois nem todas entram no cio exatamente a cada 21 dias. Pelo diagrama em questão, verifica-se que aproximadamente 30% das 108 vacas apresentaram o cio no intervalo de 18 a 24 dias. Já no segundo

ciclo - a 42 dias = 21 + 21-, no entanto, o pico de ocorrência de cio foi mais distribuído entre os dias caracterizando um intervalo maior entre 38 a 46 dias.

A partir deste conhecimento pode-se definir os seguintes intervalos entre cios:

- Entre 0 e 17 dias, o período de cio é “CEDO”;
- Entre 18 e 24 dias, o período de cio é “MUITO ESPERADO”;
- Entre 25 e 36 dias, o período de cio é “TARDIO”;
- Entre 37 e 47 dias, o período de cio é “ESPERADO”;
- Entre 48 e 80 dias, ou mais, o período de cio é “MUITO TARDIO”.

É muito difícil uma vaca ovular quando o período de cio é menor que 18 dias. Para os casos onde isto ocorreu, como no diagrama da Figura 4.3, o cio foi induzido pela utilização do hormônio indutor de cio *Prostaglandina*. Na fazenda utiliza-se o medicamento CIOSIN®. Segundo a própria bula do medicamento, após a aplicação do medicamento a vaca é esperada no cio entre o terceiro ao décimo primeiro dia. Com esta informação, pode-se definir os seguintes intervalos para as vacas medicadas com *prostaglandina*.

- Entre 0 e 3 dias, a vaca tem cio “NÃO INDUZIDO”;
- Entre 3 e 11 dias, a vaca tem cio “INDUZIDO”;
- Para mais de 11 dias a vaca tem cio “NÃO INDUZIDO”.

O conhecimento acima expandido sobre o calendário cíclico e a utilização de *prostaglandina* serviu para a confecção das funções de pertinência do sistema *fuzzy*.

4.2. FASE 2: DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA *FUZZY*

Modelagem do Sistema *Fuzzy*

As etapas descritas a seguir de Fuzzificação; etapa de confecção da Base de Regras e etapa de Defuzzificação estão de acordo com a metodologia utilizada por Firk et al(2002).

Uma representação esquemática do software MATLAB® sobre esta Lógica *Fuzzy* preliminar encontra-se na Figura 4.4. Observa-se que a combinação dos dados de

atividade, calendário cíclico e prostaglandina resulta em uma resposta do sistema sobre a presença de cio.

O número de dias desde a aplicação do hormônio de indução de cio, a prostaglandina também serviu como dado de entrada para o sistema *fuzzy*.

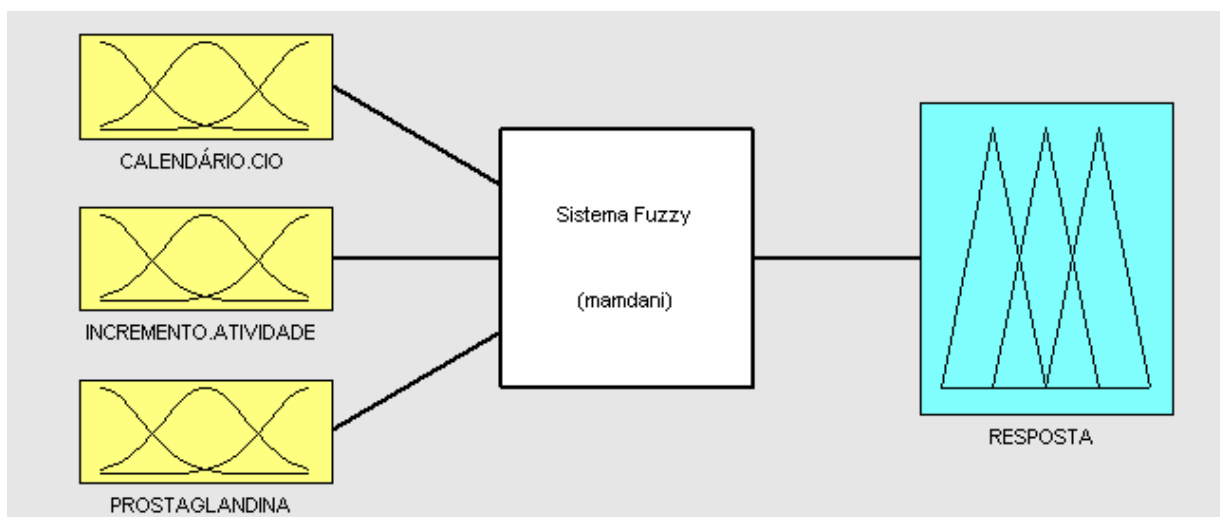


Figura 4.4. Estrutura de interação das variáveis no MATLAB®.

4.2.1. Fuzzificação

O método de Fuzzificação utilizado é o método de Mamdani. Este método permite a combinação dos graus de pertinência referentes à *movimentação* e ao *período desde o último cio* e à *prostaglandina*.

A variável dependente constitui o alerta de cio (resposta) e as variáveis independentes são os intervalos incertos de *movimentação* e *período desde o último cio* e *prostaglandina*. Estas variáveis independentes recebem o nome de variáveis lingüísticas.

No caso da *movimentação* foram definidas as variáveis lingüísticas muito baixa, baixa, médio ou alto. O desvio na atividade (porcentagem de incremento na atividade em relação aos 8 dias anteriores), pode variar entre -300% a 1500%, e o segundo valor ao valor numérico *fuzzy* atribuído. Para desvios menores que 40 % (relativos à movimentação média de cada vaca quando não estão no estro) foi definido o número *fuzzy* ‘*muito baixa*’, ‘*baixa*’, ‘*médio*’ para desvios até 120% e ‘*alto*’ para desvios maiores que 130%. Estas porcentagens, no entanto, não foram utilizadas como valores exatos, mas foram introduzidas como funções de pertinência, o que permitiu a inserção das incertezas de que tratavam.

Dados climáticos não foram incluídos no sistema.

Todas as 4 funções de pertinência da variável movimentação, e as 5 da variável calendário cíclico foram construídas com funções trapezoidais. Isto porque a função trapezoidal mostrou-se a mais indicada na representação do conhecimento extraído. No apêndice A, a equação A.12 e a Figura A.4.1 definem uma função de pertinência trapezoidal A com os seguintes pontos de caracterização:

$$A = [a_1, a_1^{(1)}, a_2, a_2^{(1)}]$$

Assim sendo, a partir de todo o conhecimento extraído sobre o assunto, os pontos de caracterização das funções de pertinência da variável **movimentação** são:

- “MUITO BAIXA” = [-300 -300 -10 20];
- “BAIXA” = [-10 20 40 80];
- “MÉDIO” = [51.3 80 117 160];
- “ALTO” = [130 200 1500 1500];

A representação gráfica destas funções trapezoidais podem ser verificadas na Figura 4.5., disponível no MATLAB®

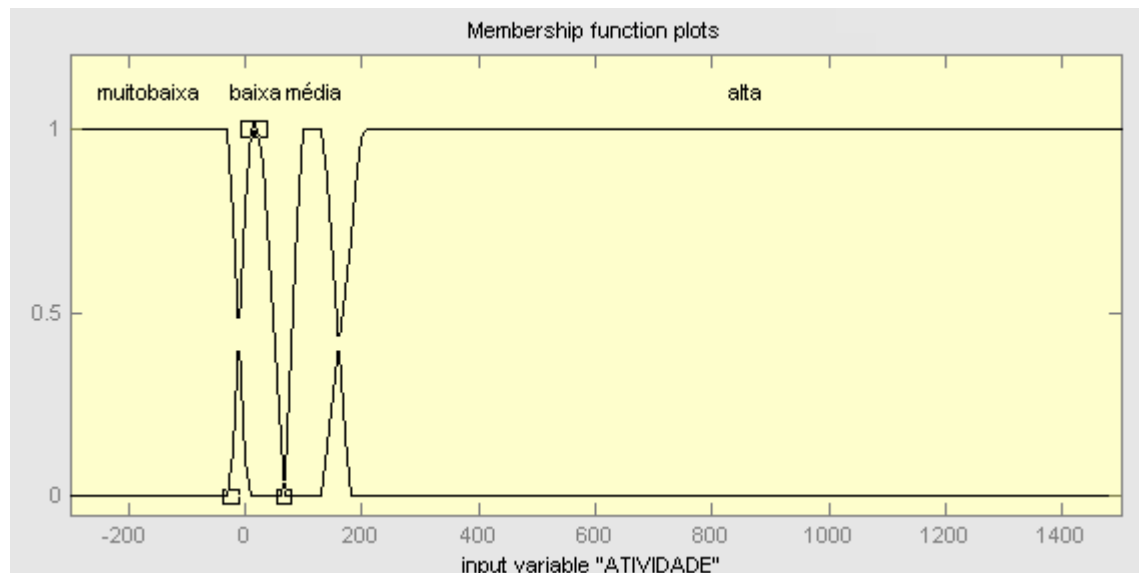


Figura 4.5. Representação gráfica das variáveis lingüísticas sobre a Movimentação.

Para o caso de *período desde o último cio* os intervalos nebulosos utilizados por Firk et al.(2002) foram definidos segundo as variáveis lingüísticas curto, normal, longo ou muito longo. A seguir é mostrado uma relação entre o número de dias após a verificação do último cio e o valor numérico *fuzzy* atribuído. Foi atribuído ‘cedo’, ‘esperado’, ‘tardio’, ‘muito esperado’ e ‘muito tardio’, conforme disposto no item 4.1.2.

Para a variável sobre os **dias desde o último cio** (calendário cíclico) foram definidos:

- “CEDO” = [0 0 17 19];
- “MUITO ESPERADO”= [18 20 24 26];
- “TARDIO” = [23 27 36 39];
- “ESPERADO” = [37 40 44 47];
- “MUITO TARDIO” [43 46 80 80].

Graficamente, tem-se a Figura 4.6:

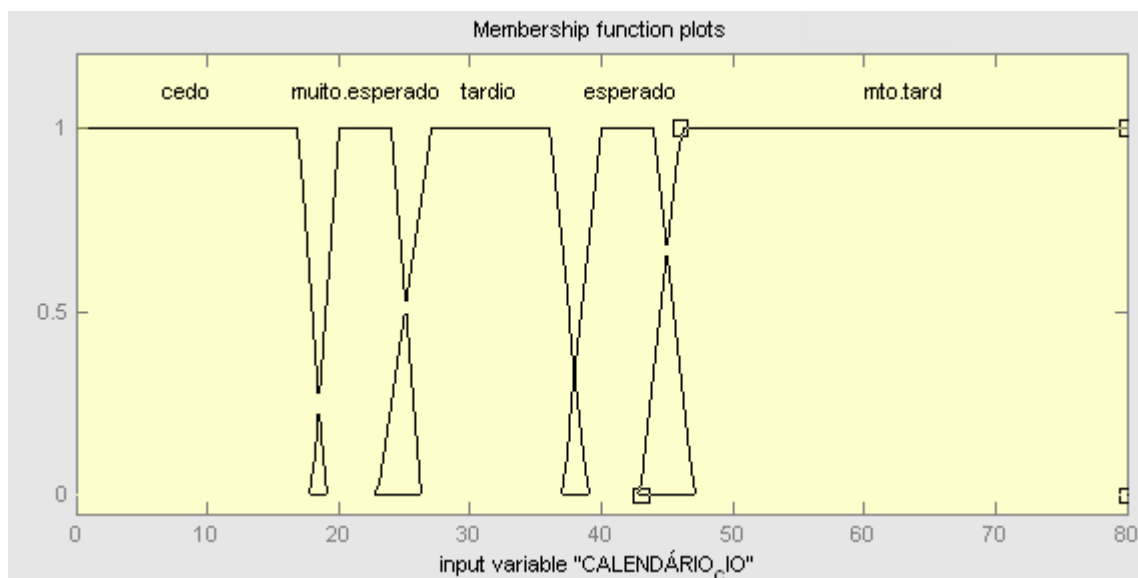


Figura 4.6. Representação gráfica das variáveis lingüísticas para o período desde último cio

Para a variável **prostaglandina** foram definidos os seguintes pontos de caracterização:

- “INDUZIDO” = [0.6 4 1.2 13.7] ;

A seguir o gráfico que representa a função acima descrita.

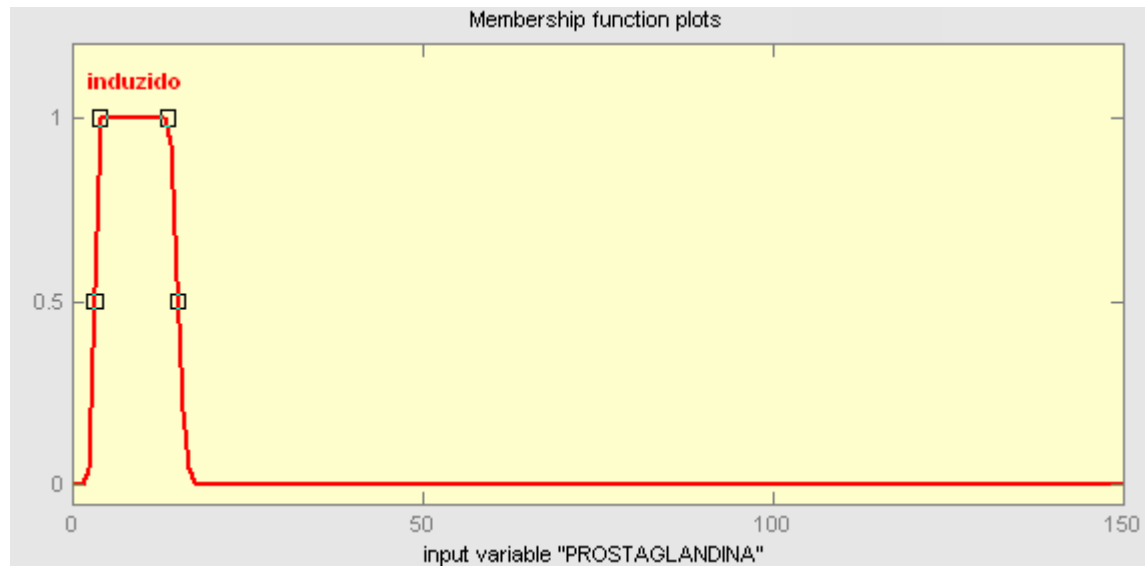


Figura 4.7. Representação gráfica do números *fuzzy* “induzido” para os casos onde há indução de hormônio com prostaglandina.

A obtenção do resultado a partir da combinação das três variáveis lingüísticas aqui descritas é feita na etapa da inferência *fuzzy*, descrita a seguir.

4.2.2. Base de Regras (ou Inferência Fuzzy)

Através do conhecimento da relação existente entre os dados das vacas e a ocorrência de cio, pode-se criar uma base de regras que define tal conhecimento. Apresenta-se aqui na Tabela 4.2 e na Figura 4.3 a base de regras confeccionada a partir do conhecimento gerado.

Tabela 4.2. 24 Regras definidas para a interferência *fuzzy* para a atividade e o período desde o último cio.

	Atividade		Dia do cio		Prost.		Resposta	PESO
SE	Muito baixa	E	Cedo	E	-	ENTÃO	sem	1
SE	Muito baixa	E	Muito esperado	E	-	ENTÃO	sem	1
SE	Muito baixa	E	Tardio	E	-	ENTÃO	sem	1
SE	Muito baixa	E	Esperado	E	-	ENTÃO	sem	1
SE	Muito baixa	E	Muito tardio	E	-	ENTÃO	sem	1
SE	baixa	E	Cedo	E	-	ENTÃO	sem	1
SE	baixa	E	Muito esperado	E	-	ENTÃO	TALVEZ	0,7
SE	baixa	E	Tardio	E	-	ENTÃO	sem	1
SE	baixa	E	Esperado	E	-	ENTÃO	TALVEZ	0,5
SE	baixa	E	Muito tardio	E	-	ENTÃO	sem	1
SE	média	E	Cedo	E	-	ENTÃO	sem	1
SE	média	E	Muito esperado	E	-	ENTÃO	*CIO*	0,8
SE	média	E	Tardio	E	-	ENTÃO	sem	0,9
SE	média	E	Esperado	E	-	ENTÃO	TALVEZ	0,5
SE	média	E	Muito tardio	E	-	ENTÃO	TALVEZ	1
SE	alta	E	Cedo	E	-	ENTÃO	sem	0,7
SE	alta	E	Cedo	E	-	ENTÃO	TALVEZ	0,5
SE	alta	E	Muito esperado	E	-	ENTÃO	*CIO*	1
SE	alta	E	Tardio	E	-	ENTÃO	TALVEZ	0,3
SE	alta	E	Esperado	E	-	ENTÃO	*CIO*	1
SE	alta	E	Muito tardio	E	-	ENTÃO	*CIO*	0,9
SE	Muito baixa	E	-	E	Induzido	ENTÃO	sem	1
SE	baixa	E	-	E	Induzido	ENTÃO	TALVEZ	0,7
SE	média	E	-	E	Induzido	ENTÃO	*CIO*	0,8
SE	alta	E	-	E	Induzido	ENTÃO	*CIO*	1

A superfície gerada pelo MATLAB® da Figura 4.8. mostra a interação entre as 24 regras criadas.

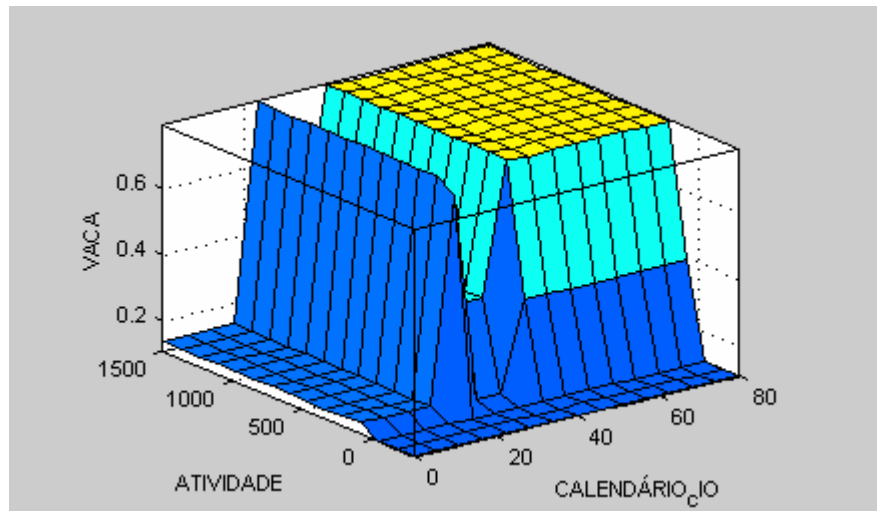


Figura 4.8. Superfície de interação de regras.

As depressões da Figura 4.8 indicam o período onde a vaca não é esperada no cio. Os picos indicam que o cio é esperado.

4.2.3. Defuzzificação

A defuzzificação é a última etapa, sucedendo a execução da fuzzificação e a inferência *fuzzy* (base de regras). A defuzzificação obtém-se um valor correspondente a saída do sistema *fuzzy*. O resultado é obtidos pela análise dos dados de *movimentação, período desde o último cio e prostaglandina*.

Nesta fase o sistema que antes trabalhava com números *fuzzy* volta a transformar os números em números *crisp* (binários). Isso significa que as variáveis lingüísticas (baixo, médio e alto) são novamente transformadas em um valor numérico. Este valor numérico que varia de 0 a 1 está preliminarmente classificado em três variáveis lingüísticas definidas como *sem cio* para valores de 0 a 0.3, *talvez* para valores de 0.3 a 0.6 e *está no cio* para valores acima de 0.6 (Figura 4.9.).

Os resultados encontrados na defuzzificação foram calculados com a aplicação do método do centro de gravidade. As funções de pertinência da resposta do sistema encontram-se na Figura 4.9.

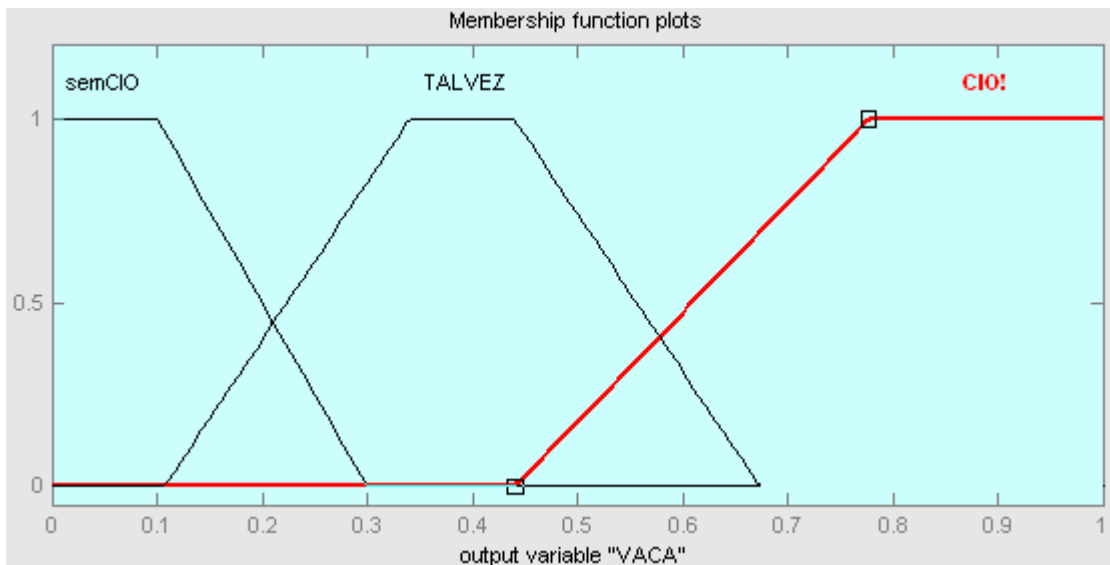


Figura 4.9. As três respostas *fuzzy* do sistema.

Vale salientar que a eficiência do sistema é calculada baseando-se nas respostas *sem cio* e *com cio*. A criação de uma resposta *talvez cio* foi feita com o intuito de aumentar a confiança do sistema de identificação automatizado de cio, cujo maior problema é o grande número de alertas falsos de cio. Assim sendo, alertas do tipo *com cio* tem maiores chances de verdadeiramente corresponder a um estado de cio, enquanto que alertas *talvez cio* apresentam maiores erros.

Construção da Curva ROC

Após a inserção dos dados no sistema *fuzzy*, este retornou como saída valores variando entre 0 e 1. Foram aproximadamente 25000 possíveis casos de cio analisados, tendo sido dado uma resposta para cada caso. A resposta zero indicava total ausência de cio e 1 a presença absoluta do cio.

Com o intuito de descobrir o ponto de corte ideal para discriminar os resultados entre “com cio” e “sem cio” foi construída a curva ROC.

4.2.4. Método de construção da curva ROC

O método de construção da curva ROC foi o não-paramétrico. Neste método, para cada ponto de corte escolhido, plota-se os respectivos valores de (1- Especificidade

x Sensibilidade). Apesar de o método ser diferente do paramétrico (empírico), a curva obtida é bastante regular e não em formato de escada. Isto se deve ao grande número de casos de cios analisados, como pode ser observado na Figura 4.10, onde a curva ROC obtida é mostrada.

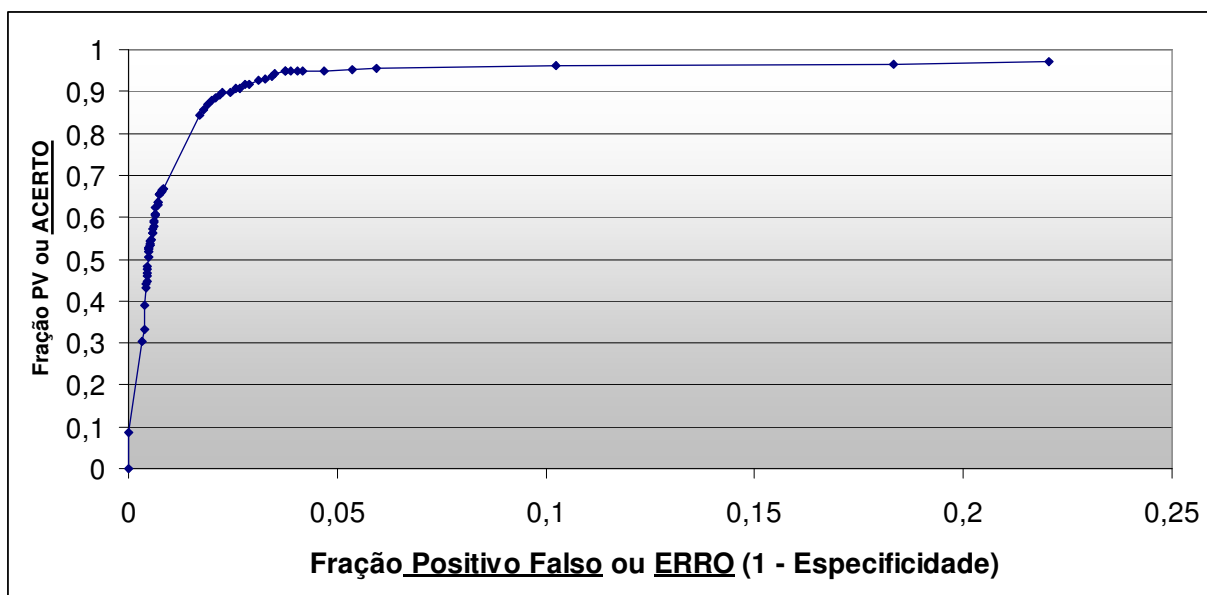


Figura 4.10. Curva ROC do sistema *fuzzy*.

4.2.5. Área sob a curva ROC

Os complexos cálculos para se estimar a área sob a curva ROC (como em CASTANHO, 2005) não são necessários, pois como pode ser visto na própria área da curva, nota-se que é bastante evidente que a área é muito próximo a 1.

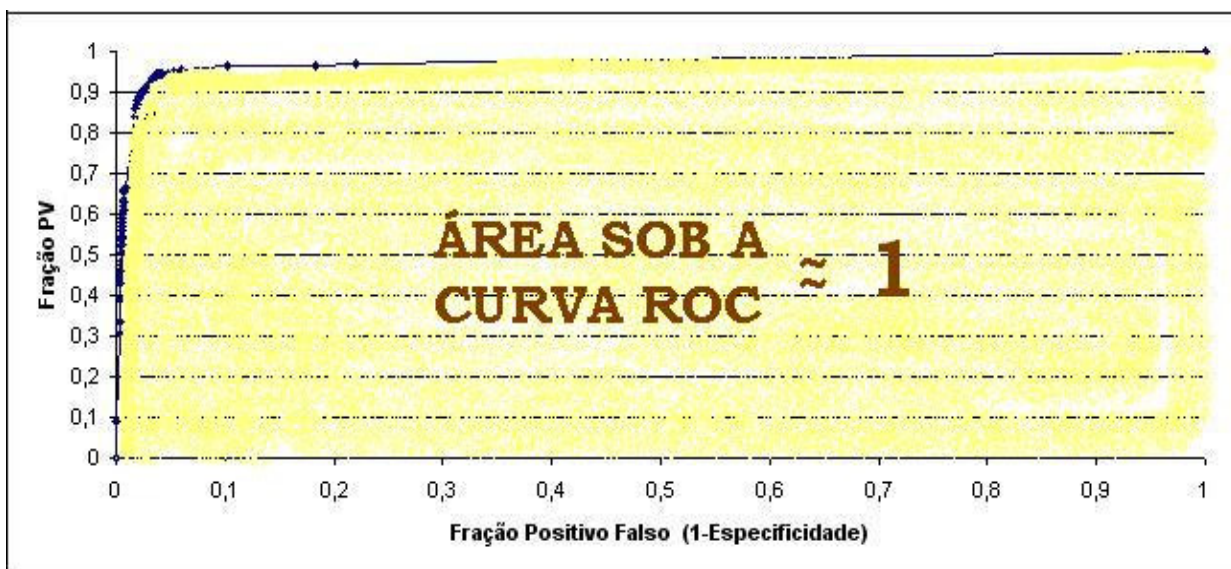


Figura 4.11. Área sob a Curva ROC do sistema *fuzzy*: alta eficiência.

Impende reforçar que a área da curva ROC varia entre 1 (quando há uma perfeita separação entre vacas “com cio” e vacas “sem cio”) e 0,5. Neste último caso o poder discriminatório não é nada melhor do que a casualidade. Como a área sob a curva ROC obtida para o sistema *fuzzy* em questão é muito próxima a 1, pode-se afirmar que o sistema *fuzzy* criado é bastante preciso no que concerne a separação entre as vacas “com cio” das “sem cio”.

Em que pese o fato de o padrão ouro (informação sobre quais vacas verdadeiramente estavam no cio) não ter sido obtido através do teste de níveis de prostaglandina no leite (considerado mais preciso do que o da observação visual), tem-se que as informações sobre as datas dos cios das vacas obtidos na fazenda verdadeiramente correspondem a um estado de cio. Esta conclusão pode ser feita a partir da visualização da regularidade da curva ROC, o que prova a coerência entre os dados testados e o sistema *fuzzy*. Se houvesse uma incoerência entre os dados coletados, ou mesmo se eles não fossem “confiáveis”, a curva ROC não seria regular e a área sob a ROC jamais seria tão próxima do ideal.

4.2.6. Escolha dos Pontos de Corte

A curva ROC serve justamente como ferramenta para a obtenção do ponto de corte do sistema onde a eficiência do sistema é ótima. Objetiva-se aqui a escolha de pontos de corte, tais que os resultados do sistema gerem três tipos de respostas:

- vacas “sem cio”;

- vacas “talvez com cio”;
- vacas “com cio”.

Como o sistema *fuzzy* foi desenvolvido para sua eventual incorporação a um sistema automatizado de identificação de cio, faz-se necessário que os valores obtidos na saída da lógica *fuzzy* sejam novamente convertidos em casos de sem cio, talvez com cio e com cio (eles já existiam na base de regra do sistema). Estas três respostas, que foram transformadas em valores “*crisp*” de 0 a 1 na defuzzificação, devem novamente ser definidas, pois num sistema automático o software deve saber classificar as respostas do intervalo (entre 0 e 1) em casos onde não há chance de cio – “sem cio”, onde o cio pode estar presente – “talvez cio”, e finalmente os casos onde a presença do cio é certa – “com cio”

A resposta “talvez cio” foi criada com o intuito de se aumentar a confiança do sistema nos casos de alertas do tipo “com cio”, sem que os casos duvidosos de cio, mas que verdadeiramente correspondam a um caso de cio, não sejam prejudicados. Pensou-se aqui em criar alertas “com cio” para os casos onde o cio é certo e onde o erro é mínimo e alertas “talvez cio” para casos onde pode haver cio, aceitando-se um erro maior. Com isso é possível que se possa diminuir o grande número de alertas positivo-falsos dos sistemas automáticos disponíveis no mercado, aumentando sua confiabilidade.

A escolha dos pontos de corte está intimamente relacionada ao caráter de decisão do sistema *fuzzy*. Ele diz respeito à tolerância para se decidir se uma vaca está ou não no cio. Na curva ROC pode-se facilmente observar a interação entre o erro do sistema (eixo das abscissas – fração positivo falso PF) e o acerto (eixo das ordenadas – fração positivo verdadeiro PV). A escolha de um ponto de corte pode ser mais rigorosa, com menores acertos (menor fração PV) e admitindo-se menor erro (menor PF), ou então a escolha pode ser mais amena, com maiores acertos (maior fração PV) mas por outro lado com maiores erros.

Para este projeto, como se trata da identificação de cios, um único erro na detecção pode resultar na perda da produção de leite de uma vaca por todo um mês. Assim sendo, o critério para a determinação dos alertas “com cio” deve ser brando, com maiores acertos (evitando-se com isso os indesejáveis resultados negativo falso - NF) em detrimento do aumento do número de PV. Entretanto, o aumento no número de alertas PV não deve comprometer a confiabilidade do sistema. É exatamente no ponto onde há um aumento na fração PV em que optou-se por escolher o ponto de corte para separar os alertas

“com cio” dos “talvez com cio” e finalmente para os “sem cio).

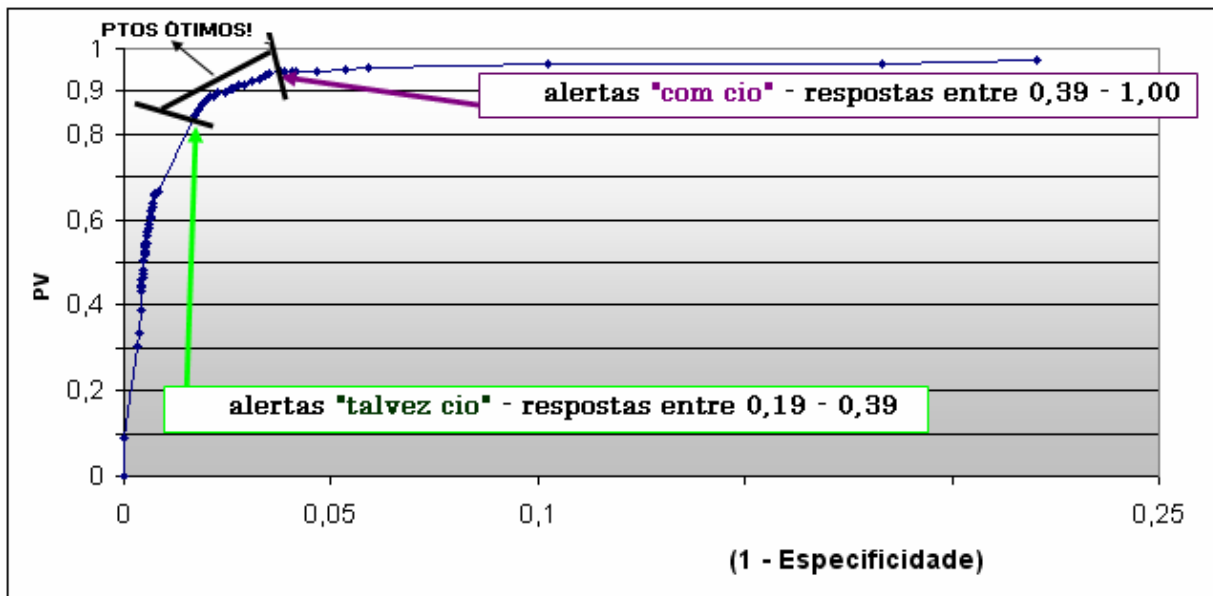


Figura 4.12. Escolha dos pontos de corte para efeitos de tomada automática de decisão.

Na Figura 4.12 pode-se observar uma região de pontos ótimos, correspondendo à tolerância que foi dada neste trabalho ao erro. Procurou-se reduzir ao máximo o número de alertas PF, especialmente para o ponto de corte que separa os alertas (definido como 0,39) “com cio” dos “talvez com cio”.

Concluindo, baseando-se na curva ROC da figura 4.12, e a respectiva interação entre o acerto (PV) e o erro (PF) que cada ponto de corte poderia resultar, foram definidas os seguintes intervalos para a tomada de decisões:

- Alerta “com cio” – para respostas do sistema entre 0,39 e 1,00;
- Alerta “talvez cio” – para respostas do sistema entre 0,19 e 0,39;
- Alerta “sem cio” – para respostas do sistema entre 0 e 0,19;

4.3. FASE 3: VALIDAÇÃO DO SISTEMA *FUZZY* EM CAMPO

O sistema *fuzzy* criado foi testado em 24.664 possíveis casos de cios analisados durante o período experimental. Conforme disposto da Tabela 3.1 (do item 3.4.4), 98 das vacas equipadas com pedômetros com marcador de atividade foram diagnosticadas no cio, sendo que conforme disposto na mesma tabela, 267 cios foram identificados no período de teste.

As respostas do sistema estão apresentadas de acordo com os critérios discutidos no tópico 2.8, sendo que PV corresponde a respostas Positivo Verdadeira, PF a Positivo-Falso, NV a Negativo-Verdadeiro e NF a Negativo-Falso e são expostas na Tabela 4.3. A coluna **Sist.Ideal** representa as respostas que seriam encontradas por um suposto sistema que fosse perfeito, e serve apenas para comparação.

Tabela 4.3. Tabela de contingência dos resultados do sistema *fuzzy* para os 24664 possíveis casos de cios entre os meses de Janeiro a Agosto de 2007.

RESPOSTAS	“COM CIO”	“TALVEZ”	considerando “talvez” e “com cio”	Perfeição
Positivo-Verdadeiras	385	48	433	457
Positivo-Falsas	415	594	1009	0
Negativo-Verdadeiras	23792	23198	23198	24207
Negativo-Falsas	72	24	24	0
total	24664	24664	24664	24664

A partir da Prenhez verificada pelo veterinário responsável, é possível saber dentre todas as possibilidades analisadas quais verdadeiramente correspondiam ao estado de cio, gerando as respostas PV, PF, NV, NF.

Dentre todos os 24.664 casos verificados, apenas 457 casos verdadeiramente correspondiam a um estado de cio, conforme constava nos registros da fazenda. Estes 457 casos de cio estão distribuídos entre os 267 cios verificados para as 98 vacas em estudo, pois cada vaca apresenta em média 2 casos evidentes de cio (coletados em duas ordenhas seguidas) para cada cio.

Se o sistema *fuzzy* criado fosse **perfeito**, dentre os 24.664 possíveis casos de cio, apenas 457 casos deveriam receber alertas do tipo “*com cio*” (respostas PV); para os outros 24.207 casos o alerta deveria ter sido “*sem cio*”. Esta suposição está representada como exemplo na coluna **Perfeição** da Tabela 4.3.

Obviamente, o sistema criado não é o ideal como exemplificado na última coluna da Tabela. 4.3. As imperfeições do sistema constituem as respostas falsas (PF e NF).

Respostas NF resultam em cios despercebidos pelo programa – ocasionando grandes perdas produtivas- e respostas PF são alertas positivos de cio para vacas que não estão no cio. Um número elevado de alertas PF faz com que o produtor perca a confiabilidade no sistema automático, que frequentemente “blefa” a presença de cios. O problema encontrado foi que ao se diminuir o número de alertas PF, aumenta-se o número de NF. Este problema foi detalhadamente estudado com a curva ROC (Fase 2 do desenvolvimento do sistema *fuzzy*). Como resultado do estudo da curva ROC foi possível o aperfeiçoamento no equilíbrio entre a tolerância de respostas PF e NF. A fim de evitar ao máximo a presença de respostas NF, foi criado o alerta “talvez cio”. A intenção é a de que o produtor saiba que **a confiabilidade dos alertas “com cio” seja maior do que as do alerta “talvez cio”**.

Assim sendo, para este experimento, pelos 6 meses de acompanhamento do programa, o produtor poderia levar em consideração apenas os alertas “com cio”, ignorando os alertas “talvez cio” (coluna “**COM CIO**”) ou então considerar ambos os alertas “com cio” e “talvez cio” como estados de cio (coluna “**considerando “talvez” e “com cio”**”). Naquele caso, conforme disposto na Tabela 4.3. o produtor receberia 385 alertas de cios verdadeiros, perdendo a ocorrência de cio em 72 casos. No segundo caso (somando-se os alertas “talvez cio”), o produtor poderia identificar outros 48 casos de cios (PV) deixando de identificar apenas 24 casos (NF), isto tudo porém às custa de 1009 alertas errôneos de cios (alertas PF) – os “blefes” de cio.

Dependendo da utilização, ou não, das respostas “talvez cio” o sistema pode apresentar a seguinte performance, disposta na Tabela 4.4:

Tabela 4.4. Resultados de Eficiência para o teste do sistema *fuzzy* durante os 6 meses de acompanhamento.

	“COM CIO”	considerando “talvez” e “com cio”
• SENSIBILIDADE [%]	84,2	94,7
• ESPECIFICIDADE [%]	98,3	95,8
• TAXA DE ERRO [%]	1,7	4,2
• PRECISÃO TOTAL[%]	98,0	95,8

Cabe ressaltar mais uma vez que se considerados apenas os alertas “com cio”, tomando os alertas “talvez cio” da mesma forma que os alertas “sem cio”, a sensibilidade é menor (menor número de cios identificáveis) e os erros são menores (maior especificidade). Por outro lado, se considerados os alertas “talvez cio” como alertas de cio, a sensibilidade

aumenta para 94,7%, entretanto o erro também aumenta (menor especificidade).

O cálculo da precisão total é de baixa utilidade, pois é um cálculo mascarado. Isto se deve a predominância no número de casos onde o cio está ausente (respostas NV e NF). A precisão para os alertas “com cio” só é maior devido ao menor número de alertas PF.

Dentre os resultados encontrados o mais relevante é o da sensibilidade. A sensibilidade mostra a capacidade do sistema em identificar corretamente as vacas que verdadeiramente estão no cio. Pelo resultado encontrado de 84,2% pode-se afirmar que se o produtor tivesse utilizado somente o sistema automático para identificar o cio – considerando apenas as vacas devidamente equipadas com pedômetros-, 84,2% dos cios teriam sido identificados, perdendo-se apenas 11,9% dos casos de cios. A especificidade, por outro lado, trata da capacidade do sistema em detectar os casos onde não havia cio, tendo o sistema apresentado uma especificidade de 98,3%. Este alto valor de especificidade indica que o produtor recebeu falsos alertas de cio (PF) em apenas 1,7% (taxa de erro) dos casos. Isto confere ao sistema um grau de confiabilidade muito maior do que os modelos de detecção de cio disponíveis comercialmente. Tais modelos estão baseados apenas em cálculos estatísticos, conferindo a eles uma menor confiabilidade devido ao grande número de alertas falsos de cio (PF) dados ao produtor.

O resultado encontrado está de acordo com outros trabalhos da área. Maatje et al. (1997) encontraram uma sensibilidade de 87% usando um modelo de filtro Kalman para detectar automaticamente o cio; Eradus et al. (1998) obtiveram uma sensibilidade de 79% na detecção de cio usando um sistema *fuzzy* com 24 regras e taxa de erro de 6%. Firk et al. (2002), utilizaram dados de movimentação e dias desde o último cio de 373 vacas, tendo encontrado uma sensibilidade de 87,9%.

Cios Detectados Apenas pelo Sistema

Durante a análise dos dados, observou-se que o sistema foi capaz de identificar 43 casos de cios que passaram despercebidos pelos funcionários da fazenda. Foram identificados picos de atividades típicos de cio, todos dentro do período cíclico esperado de 21 dias, sem que nenhum outro cio tenha sido identificado para o período. A Tabela 4.5 traz informações sobre o incremento na movimentação verificado e os dias desde o último cio para estes 43 casos.

Tabela 4.5. Casos prováveis de cios não constantes nos registros da fazenda mais detectados pelo sistema *fuzzy*.

N. VACA	Incremento na movimentação [%]	Dias desde o último cio
1370	96	20
1341	323	19
1508	303	-
1569	268	31
1685	358	21
1685	331	-
1122	264	20
1122	248	20
1732	148	26
1170	114	22
1170	299	19
1711	369	22
1711	364	23
1725	87	21
1725	181	23
1291	263	-
1562	101	21
1562	238	-
442	209	22
442	220	25
442	588	21
1642	1265	-
1609	269	21
1609	1029	21
1689	173	24
539	113	22
1327	169	22
1345	176	21
1345	198	22
1721	273	38
1721	165	38
1134	120	18
1193	187	23
1193	304	23
1706	247	20
1421	165	20
1580	111	23
1580	155	23
1588	2879	18
1520	442	20
1520	237	25
857	159	17
1704	88	25

Em todos os casos mostrados na Tabela 4.5, os casos suspeitos de presença de cio identificados pelo sistema *fuzzy* eram bastante evidentes. Sempre os picos de movimentação estavam acompanhados por outros picos (aumentando ainda mais a confiança de que realmente se tratavam de cio).

É possível que em alguns destes casos os funcionários tenham verificado a presença de cio, mas por algum motivo não deixaram o cio registrado, de forma que apenas o programa tenha identificado o cio nestes casos. Conquanto possam sim tratar de erros no registro, mesmo que a metade dos casos mostrados tenham sido observados visualmente na fazenda, ainda assim o sistema *fuzzy* mostra a sua eficiência e utilidade, pois serviria nestes casos como auxiliador na tomada de decisão sobre a inseminação adequada.

5. CONCLUSÃO

A fim de detectar automaticamente o cio em rebanhos leiteiros, foi desenvolvido um sistema baseado em lógica *fuzzy*. O sistema utiliza dados de *movimentação*, *calendário cíclico* e *utilização de hormônio prostaglandina* para gerar resultados do tipo “com cio”, “talvez cio” e “sem cio” para cada dado analisado. O sistema foi testado através do acompanhamento por 6 meses de um rebanho em uma fazenda comercial.

Na formação da base de conhecimento foi aplicado um questionário a especialistas e foram também analisados dados de campo. Com isso, gerou-se 24 regras *fuzzy* e as funções de pertinência para as variáveis de entrada. A alta eficiência de detecção do sistema mostrou que as informações adquiridas na construção do sistema definem corretamente a presença do cio.

O sistema foi validado em campo, tendo sido sua eficiência avaliada por seis meses. A eficiência de detecção (sensibilidade) encontrada foi superior a 80%, conforme é explicado abaixo. A partir da análise dos dados de um possível caso de cio, para vacas consideradas no cio pelo sistema, este gera respostas do tipo “com cio” (nos casos de maior certeza de cio) e também gera respostas do tipo “talvez cio” (menor certeza de cio).

Considerando apenas os resultados “com cio”, para os quase 25 mil possíveis casos de cio analisados, o sistema foi capaz de detectar eficientemente a ocorrência de 84,2% dos casos de cios (84,2% de sensibilidade e 98,3% de especificidade). Este resultado mostrou que o sistema é altamente eficiente.

Considerando resultados “com cio” somados aos “talvez cio”, para os quase 25 mil possíveis casos de cio analisados, o sistema foi capaz de detectar eficientemente a ocorrência de 94,7% dos casos de cios (97,7% de sensibilidade e 95,8% de especificidade). A adição de alertas “talvez cio” resultou no aumento no número de alertas Positivo-Falsos, o que diminui a confiabilidade do sistema.

Para trabalhos futuros na área da detecção automatizada de cios recomenda-se um estudo pormenorizado sobre outras tantas variáveis que influenciam na manifestação do cio – além daquelas aqui estudadas, como variáveis ambientais, diferença entre raças. Quanto maior for o conhecimento sobre os fatores relacionados ao cio, melhores se tornarão os sistemas automáticos de detecção do mesmo.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Fundamentos da Lógica *Fuzzy*

APÊNDICE B

Questionário

APÊNDICE A

FUNDAMENTOS DA LÓGICA *FUZZY*

A lógica fuzzy, utilizada como ferramenta fundamental neste projeto, é uma inovação à lógica convencional. Portanto, para a compreensão sobre as vantagens que a utilização da lógica fuzzy traz na detecção de cios é importante saber sobre os elementos básicos desta ferramenta. Assim sendo, são apresentados neste apêndice os conceitos sobre números e conjuntos fuzzy e suas propriedades. Recomenda-se que o leitor esteja familiarizado com a teoria dos conjuntos clássicos.

A.1. TEORIA DOS CONJUNTOS *FUZZY*

A.1.1. Números *Fuzzy*

Números *fuzzy* são números “imprecisos”. Eles são definidos por uma função chamada função de pertinência. Esta função de pertinência está intimamente relacionada ao grau de estimativa do número, ou em outras palavras, ao grau de certeza sobre o número (JAMSHIDI; VADIEE; ROSS, 1993).

A importância em se entender os conceitos envolvidos nas operações com números *fuzzy* deve-se ao fato da necessidade da utilização de números *fuzzy* na construção de sistemas *fuzzy*. Por exemplo, a incerteza sobre a influência do aumento da atividade na manifestação do cio pode ser representada por um número *fuzzy* que considere essa incerteza. No contrário, o uso de números inteiros resulta na perda de informações que apesar de serem incertas são importantes.

Para um entendimento mais completo sobre números *fuzzy* faz-se necessário primeiramente apresentar conceitos básicos sobre caracterização de intervalos. Os conceitos matemáticos aqui apresentados baseiam-se essencialmente no artigo de Lofti A. Zadeh (ZADEH, 1965)

Intervalos Simples

Considerando todos os números reais contidos em R define-se um intervalo como um número incerto x que está localizado entre os números reais a_1 e a_2 , $a_1 < a_2$. Por convenção escreve-se o intervalo numérico A no conjunto dos números reais x de forma que $a_1 < x < a_2$, ou seja, $x \in [a_1, a_2]$, $a_1, a_2 \in R$, ou ainda:

$$A = [a_1, a_2] = \{ x \mid a_1 \leq x \leq a_2, x \in R \} \quad (A.1)$$

A soma, subtração, multiplicação e a divisão para os intervalos $A = [a_1, a_2]$ e $B = [b_1, b_2]$ deve ser feita conforme as respectivas equações:

Soma de intervalos

$$A + B = [a_1, a_2] + [b_1, b_2] = [a_1 + b_1, a_2 + b_2]. \quad (A.2)$$

Subtração de intervalos

$$A - B = [a_1, a_2] - [b_1, b_2] = [a_1 - b_1, a_2 - b_2]. \quad (A.3)$$

Multiplicação de intervalos

$$\begin{aligned} A \cdot B &= [a_1, a_2] \cdot [b_1, b_2] \\ &= [\min(a_1 b_1, a_1 b_2, a_2 b_1, a_2 b_2), \max(a_1 b_1, a_1 b_2, a_2 b_1, a_2 b_2)]. \end{aligned} \quad (A.4)$$

Divisão de intervalos

$$\begin{aligned} A : B &= A/B = [a_1, a_2] : [b_1, b_2] \\ &= [a_1, a_2] \cdot [1/b_1, 1/b_2] \end{aligned} \quad (A.5)$$

Intervalos de Múltiplos Níveis

O intervalo $A = [a_1, a_2]$ pode ser dividido em 2 sub-intervalos $[a_1, a]$ e $[a, a_2]$, $a_1 < a < a_2$ sendo que cada sub-intervalo representa um nível diferente de presunção (ou grau de filiação), α_1 ou α_2 $0 < \alpha_1 < \alpha_2$. Tem-se, portanto:

$$A_{\alpha_1 \alpha_2} = [a_1, a]_{\alpha_1} \cup [a, a_2]_{\alpha_2} \quad (A.6)$$

$$A_{\alpha_2 \alpha_1} = [a_1, a]_{\alpha_2} \cup [a, a_2]_{\alpha_1} \quad (A.7)$$

A indicação de α_1 encontrada em $[a_1, a]_{\alpha_1}$ mostra que tal intervalo encontra-se em um nível definido α_1 . A notação $\cup$ é utilizada para unir ambos os intervalos em 2 diferentes níveis α_1 e α_2 . Este conceito pode ser generalizado para múltiplos intervalos, definidos para n níveis. Assume-se que o intervalo de suporte A está dividido em mais do que n subintervalos, sendo que $m > n$, nos pontos:

$$a_1 < a^{(1)} < a^{(2)} < \dots < a^{(m-1)} < a_2;$$

e os sub-intervalos:

$$[a, a^{(1)}], [a^{(1)}, a^{(2)}], \dots [a^{(m-1)}, a_2].$$

Cada subintervalo terá um grau de filiação, indicando o nível de aceitação para o valor no conjunto $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$. O nível máximo de filiação é definido quando $\alpha_1 = \alpha_n$

Fazendo $\alpha_1 = 0$ e $\alpha_f = 1$ supõe-se que o número de níveis entre $\alpha_1 = 0$ e $\alpha_f = 1$ aumente infinitamente, $n \rightarrow \infty$. Implica-se com isto que $m \rightarrow \infty$, já que $m = 2n - 1$. O comprimento de cada subintervalo torna-se muito pequeno, aproximando 0. Com isso, a função de diferentes degraus definida para os intervalos divididos em múltiplos níveis se aproxima a uma função contínua e monótona $F(x)$

$$\alpha = F(x)$$

O pico desta função está em $F(x) = 1$. O domínio de $\alpha = F(x)$ é o intervalo de suporte $A = [a_1, a_2] = [a_1(0), a_2(0)]$ e os limites são 0 e 1, conforme a Figura A.1

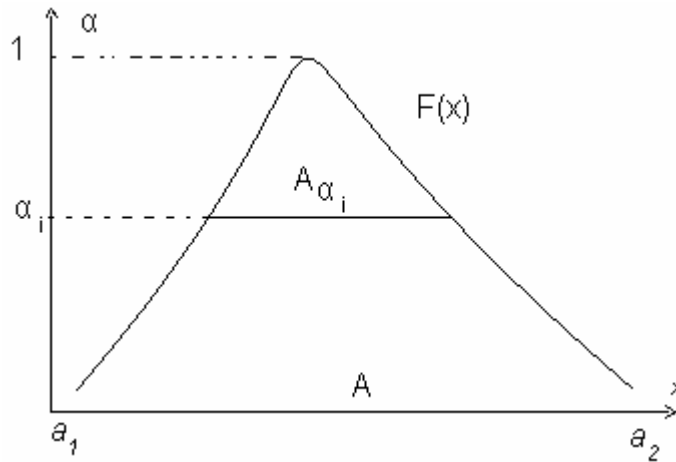


Figura A.1 $F(x)$ Intervalo numérico de níveis infinitos. (FONTE: KLIR; YUAN, 1995)

Considerando uma função contínua $\alpha = F_A(x)$, $a_1 < x < a_2$, $F_A(a_1) = F_A(a_2) = 0$ com o máximo no ponto $(a_M, 1)$ no mesmo padrão da Figura A.1, pode-se expressar a função conforme a seguir:

$$\alpha = F_A(x) = \begin{cases} F_A^e & \text{para } a_1 \leq x \leq a_M \\ F_A^d & \text{para } a_M \leq x \leq a_2 \end{cases} \quad (\text{A.8})$$

A função está dividida em dois lados, o esquerdo representando $F_A^e(x)$ e o direito $F_A^d(x)$ e o máximo encontra-se em $F_A^e(a_M) = F_A^d(a_M)$. Se $\alpha = F_A(x)$ é uma curva suave, então $F_A^e(x)$ e $F_A^d(x)$ pode ser combinado em uma só equação. Caso contrário faz-se necessário o uso de mais de uma equação para caracterizar os diferentes pedaços da curva.

Definição Geral de Números Fuzzy: Função de Pertinência

A definição de um número *fuzzy* A é dada pela função acima descrita (A.8) chamada função de pertinência, ou função de filiação.

$$A \stackrel{\Delta}{=} F_A(x), \quad (\text{A.9})$$

O símbolo $\stackrel{\Delta}{=}$ significa “definido como”. O número *fuzzy* A (A.9) é utilizado para descrever o nível de possibilidade de um número pertencer a um determinado intervalo. O nível possibilidade, ou grau de pertinência varia entre 0 e 1, $\alpha \in [0, 1]$. Conforme o grau de pertinência de um número $x \in A$ aumenta de 0 a 1 também aumenta a confiança de que x pertence ao intervalo $A = [a_1, a_2]$ (ZADEH, 1965).

Na construção de sistemas *fuzzy* os números *fuzzy* são utilizados para descrever funções lingüísticas como baixo, médio e alto. A variável lingüística movimentação baixa pode, por exemplo, ser definida para um intervalo entre 0% e 25%, a média no intervalo 25% a 75% e a alta para valores de movimentação maiores que 75%. Existem diferentes funções para dar forma aos números *fuzzy* de cada variável lingüística. Abaixo são descritos os números *fuzzy* mais comumente utilizados, nas formas triangular e trapezoidal.

Função Triangular

Um número *fuzzy* triangular A (JAMSHIDI; VADIEE; ROSS, 1993) permite definir as fronteiras de A dentro do universo de discurso, a função é representada por:

$$\alpha = F_A(x) = \begin{cases} \frac{x - a_1}{a_M - a_1} & \text{para } a_1 \leq x \leq a_M \\ \frac{x - a_2}{a_M - a_2} & \text{para } a_M \leq x \leq a_2 \\ 0 & \text{para os outros casos} \end{cases} \quad (\text{A.10})$$

O intervalo de suporte é $[a_1, a_2]$ e o pico encontra-se em $(a_M, 1)$. A representação gráfica está na Figura A.2

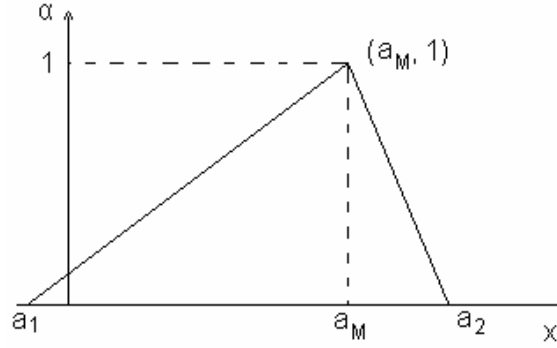


Figura A.2 Função de pertinência triangular (FONTE: adaptado de JAMSHIDI; VADIEE; ROSS, 1993)

Para encontrar o valor de α para um determinado valor $a(\alpha)$, basta substituir $a(\alpha)$ em A.10 dependendo se $a(\alpha)$ pertence a esquerda ou a direita do ponto máximo.

Em muitos casos o pico da função triangular encontra-se no meio entre a_1 e a_2 , ou seja

$$a_M = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

Neste caso particular a função de pertinência toma a forma triangular central. É representada por

$$\alpha = F_A(x) = \begin{cases} 2 \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & \text{para } a_1 \leq x \leq \frac{a_2 + a_1}{2} \\ 2 \frac{x - a_2}{a_M - a_2} & \text{para } \frac{a_2 + a_1}{2} \leq x \leq a_2 \\ 0 & \text{para os outros casos} \end{cases} \quad (\text{A.11})$$

O intervalo de suporte é $[a_1, a_2]$ e o pico encontra-se em $(a_M, 1)$. A representação gráfica está na Figura A.3

Sua ampla utilização em sistemas de controle e suporte a decisão deve-se a sua simplicidade, consistindo apenas de dois seguimentos lineares ligados por um ponto máximo $(a_M, 1)$.

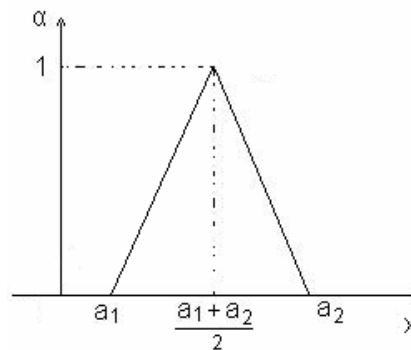


Figura A.3 Função de pertinência triangular central. (FONTE: adaptado de JAMSHIDI; VADIEE; ROSS, 1993)

Para valores x dentro de um intervalo $a_1 < x < a_2$ caso o valor x que represente o valor mais provável de ser encontrado dentro do intervalo seja conhecido, em outras palavras, se é conhecido o ponto máximo da função e os limites a_1 e a_2 a função triangular pode ser rapidamente construída. Por esta razão o número *fuzzy* triangular A é muitas vezes descrito como

$$\mathbf{A} = (a_1, a_M, a_2)$$

Já o número *fuzzy* triangular central A é simétrico em relação ao eixo das ordenadas. Se ocorre que $a_1 = a$, $a_2 = a$, então $a_M = 0$ e a função (Figura 2.6) é descrita como:

$$\mathbf{A} = (a_1, 0, a_2)$$

Função Trapezoidal

Funções de pertinência na forma trapezoidal (JAMSHIDI; VADIEE; ROSS, 1993)

obedecem as seguintes equações:

$$\alpha = F_A(x) = \begin{cases} \frac{x - a_1}{a_1^{(1)} - a_1} & \text{para } a_1 \leq x \leq a_1^{(1)}, \\ 1 & \text{para } a_1^{(1)} \leq x \leq a_2^{(1)}, \\ \frac{x - a_2}{a_2^{(1)} - a_2} & \text{para } a_2^{(1)} \leq x \leq a_2, \\ 0 & \text{para os outros casos.} \end{cases} \quad (\text{A.12})$$

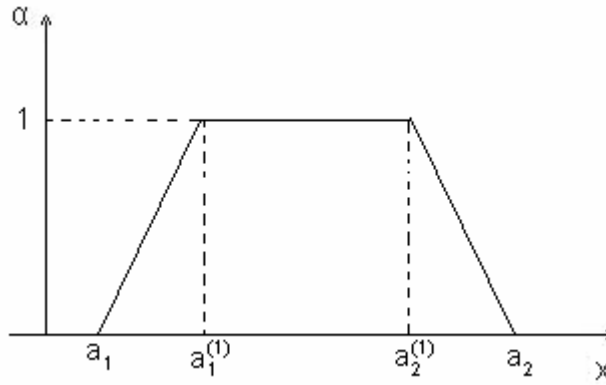


Figura A.4 Função de pertinência triangular central (FONTE: adaptado de JAMSHIDI; VADIEE; ROSS, 1993)

No intervalo entre $[a_1^{(1)}, a_2^{(1)}]$ todos os valores de x pertencente a $a_1^{(1)} < x < a_2^{(1)}$ assumem o mesmo valor igual a 1. Diz-se que a função de pertinência trapezoidal tem uma seção achatada. Caso $a_1^{(1)} = a_2^{(1)}$ então a função trapezoidal é idêntica à triangular.

Para se construir a função são necessários os valores limites de $a_1, a_2, a_1^{(1)} e a_2^{(1)}$. Podendo então a função ser descrita por:

$$A = [a_1, a_1^{(1)}, a_2, a_2^{(1)}]$$

Operações com Números Fuzzy

Serão apresentadas aqui algumas operações aritméticas para números *fuzzy* com um máximo (A.9) (KLIR; YUAN, 1995). Considere dois números *fuzzy* A e B e as respectivas funções de pertinência $F_A(x)$ e $F_B(x)$, com os máximos $(a_M, 1)$ e $(b_M, 1)$

$$\begin{aligned}
A = \alpha = F_A(x) &= \begin{cases} F_A^e & \text{para } a_1 \leq x \leq a_M, \\ F_A^d & \text{para } a_M \leq x \leq a_2, \end{cases} \\
B = \alpha = F_B(x) &= \begin{cases} F_B^e & \text{para } b_1 \leq x \leq b_M, \\ F_B^d & \text{para } b_M \leq x \leq b_2, \end{cases}
\end{aligned} \tag{A.13}$$

Os níveis α de corte (α -cut) são:

$$\begin{aligned}
\{A_\alpha\} &= \{[a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}]_\alpha\}, & \alpha \in [0,1], \\
\{B_\alpha\} &= \{[b_1^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}]_\alpha\}, & \alpha \in [0,1]
\end{aligned} \tag{A.14}$$

Adição

$$\{A_\alpha\} + \{B_\alpha\} = \{A_\alpha + B_\alpha\} = \{[a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}]_\alpha + [b_1^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}]_\alpha\} = [a_1^{(\alpha)} + b_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)} + b_2^{(\alpha)}] \tag{A.15}$$

A soma de A e B é descrita como:

$$A + B = F_A + F_B(x) = \begin{cases} F_{A+B}^e(x), & \text{para } a_1 + b_1 \leq x \leq a_M + b_M \\ F_{A+B}^d(x), & \text{para } a_M + b_M \leq x \leq a_2 + b_2 \end{cases} \tag{A.16}$$

A representação gráfica da soma (Figura A.5) mostra os valores de α nos níveis de 0,5 e

1. Geometricamente a soma dos números *fuzzy* é a adição das curvas $F_A^e(x)$ e $F_B^e(x)$, e $F_A^d(x)$ e $F_B^d(x)$

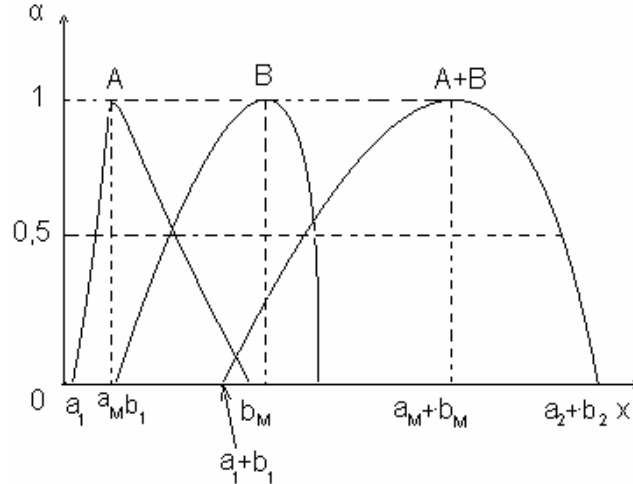


Figura A.5 Soma dos números *fuzzy* A e B (FONTE: KLIR; YUAN, 1995).

Para os números *fuzzy* A, B e C, defini-se as seguintes propriedades comutativas e associativas:

$$\mathbf{A + B = B + A}$$

$$\mathbf{(A + B) + C = A + (B + C)}$$

Subtração

$$\{A_\alpha\} - \{B_\alpha\} = \{A_\alpha - B_\alpha\} = \{[a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}]_\alpha - [b_1^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}]_\alpha\} = [a_1^{(\alpha)} - b_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)} - b_2^{(\alpha)}] \quad (\text{A.17})$$

Multiplicação

$$\begin{aligned} \{A_\alpha\} \cdot \{B_\alpha\} &= \{A_\alpha B_\alpha\} = \{[a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}]_\alpha [b_1^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}]_\alpha\} \\ &= \{[\min(a_1^{(\alpha)} b_1^{(\alpha)}, a_1^{(\alpha)} b_2^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)} b_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)} b_2^{(\alpha)}), \max(a_1^{(\alpha)} b_1^{(\alpha)}, a_1^{(\alpha)} b_2^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)} b_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)} b_2^{(\alpha)})]\} \end{aligned} \quad (\text{A.18})$$

A propriedade da distributiva nem sempre é aplicada em operações com intervalos (KLIR; YUAN, 1995). No entanto, se os números *fuzzy* A, B e C são definidos dentro dos números R+, então a propriedade distributiva é aceita:

$$\mathbf{(A + B)C = AC + BC}$$

Divisão

$$\begin{aligned} \{A_\alpha\} : \{B_\alpha\} &= \frac{\{A_\alpha\}}{\{B_\alpha\}} = \{[a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}]_\alpha : [b_1^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}]_\alpha\} \\ &= \left\{ [a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}] \left[\frac{1}{b_1^{(\alpha)}}, \frac{1}{b_2^{(\alpha)}} \right]_\alpha \right\}, \quad 0 \notin [b_1, b_2] \end{aligned} \quad (\text{A.19})$$

Da mesma forma como ocorre para intervalos a divisão é a multiplicação do inverso de B com A, ou seja, AB-1.

A.1.2. Conjuntos *Fuzzy*

Ao contrário da lógica proposicional, que trabalha somente com valores verdadeiros (1) ou falsos(0), na Lógica *Fuzzy* para cada proposição feita, valores graduais de certeza podem ser atribuídos, variando entre 0 e 1. Este diferenciado conceito de conjunto, que permite que um elemento tenha um grau de pertinência variando entre 0 e 1, é chamado de Conjunto *Fuzzy*. (ZADEH, 1965)

Considere um conjunto clássico A do universo U. Um Conjunto *Fuzzy* A é definido por um conjunto de pares ordenados:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in A, \mu_A(x) \in [0,1]\} \quad (\text{A.20})$$

Onde $\mu_A(x)$ é chamada de função de pertinência. Esta função especifica o grau para o qual cada elemento x em A pertence ao conjunto *fuzzy* A. Os conjuntos *fuzzy* são aqui denotados por letras em itálico A, B, C. (ZADEH, 1965)

Exemplo dos Homens Obesos

Para ilustrar a diferença entre o conceito do uso de conjuntos clássicos e de conjuntos *fuzzy* considere uma população de homens brasileiros todos com 1,70 metros de altura. Supondo que a fim de alertar esta população sobre os riscos da obesidade para homens com esta altura pretende-se determinar as faixas de peso onde os homens sejam caracterizados como obesos. (adaptado de ZADEH, 1965)

A Figura A.4 apresenta uma classificação entre homens obesos e não-obesos. Na população definida, homens com o peso acima de 85 kg foram classificados como obesos (regra de pertinência). Observa-se aqui que esta classificação está fundamentada na teoria dos conjuntos clássicos onde um elemento está 100% presente ou 0%, não havendo outra alternativa.

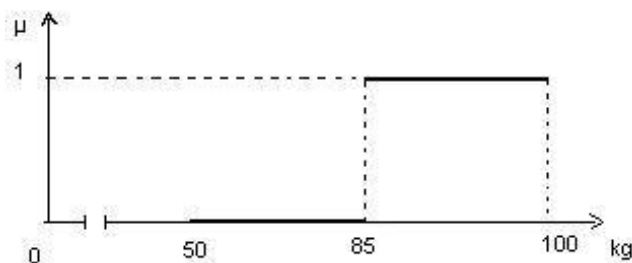


Figura A.6 Função de pertinência do conjunto de homens obesos com 1,70m de altura (FONTE: adaptado de ZADEH, 1965).

Para a construção da classificação da Figura A.6 foi necessário criar uma função que obedecesse a regra de pertinência que inclui os homens acima de 85 kg na categoria de definido um conjunto A, tal que $A = \{\text{homens obesos}\}$ e a função característica do conjunto é dada:

$$\mu_{(A)} = \begin{cases} 1 & \text{para } 85 \leq x \\ 0 & \text{para } 50 \leq x < 85. \end{cases} \quad (2.21)$$

Se analisada esta descrição percebe-se que um homem de 84 kg não é considerado obeso e está na mesma categoria que um de 50 kg. Por outro lado, não é necessário ser um especialista no assunto para saber que um homem de 84 quilos (aqui considerado obeso) é tão obeso quanto o que pesa 85kg. Isto faz com que tal classificação seja incompleta para por exemplo, ser usada no meio médico. Falta aqui uma classificação que permita uma mudança gradativa na classificação entre homens obesos e não-obesos. Isto só é possível com a utilização de conjuntos *fuzzy*. Agora então emprega-se para o mesmo propósito o conjunto *fuzzy* $T = \{(x, \mu_T(x))\}$, onde o peso x em kg pertence ao intervalo $[50,100]$ e $\mu_T(x)$ é definido por:

$$\mu_T(x) = \begin{cases} \frac{1}{2(30)^2} (x - 50)^2 & \text{para } 50 \leq x \leq 80 \\ -\frac{1}{2(30)^2} (x - 100)^2 & \text{para } 80 \leq x \leq 100. \end{cases} \quad (A.22)$$

Neste caso função de pertinência $\mu_T(x)$ toma a forma de uma função quadrática (A.22) definida pela equação apresentada e mostrada na Figura A.7. Os números no eixo x são dados em kg e na vertical μ mostra o grau de classificação na categoria obesos.

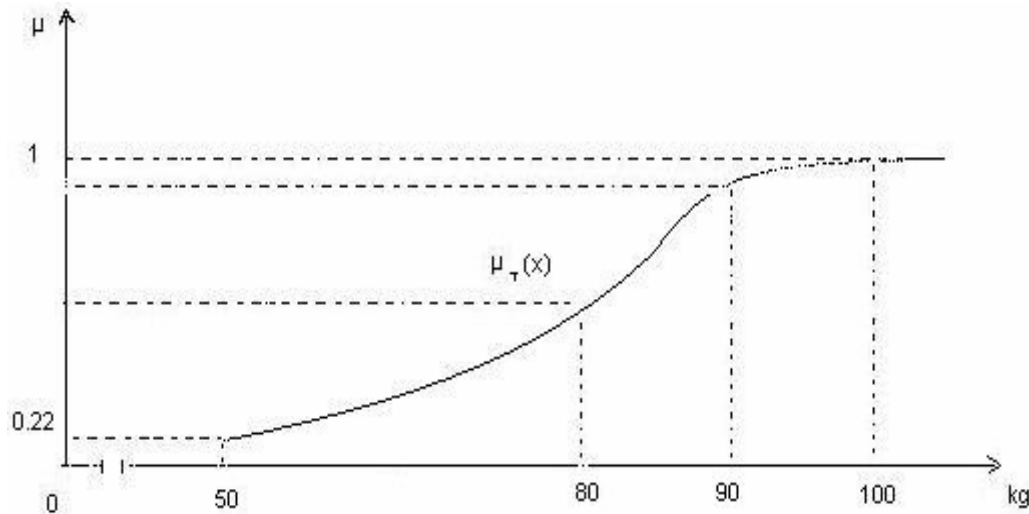


Figura A.7 Descrição *fuzzy* de homens com 1,70m de altura considerados obesos.
(FONTE: adaptado de ZADEH, 1965)

A utilização dos conjuntos *fuzzy* para classificar os homens obesos é claramente mais adequada. Considerando por exemplo uma pessoa de 50 quilogramas, de acordo com o gráfico da Figura A.7 classifica-se esta pessoa como muito pouco obesa, com grau de pertinência igual a 0,22. Já homens com 90 kg ou mais são quase que 100% obesos.

APÊNDICE B

Questionário

Apresenta-se neste apêndice as tabelas e os gráficos que representam o sistema *fuzzy* desenvolvido no MATLAB® especificamente para a detecção de cio.

B.1. CONSULTA AOS ESPECIALISTAS (*FASE I: AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO*)

O questionário aplicado aos especialistas da área encontra-se na Tabela B.1. Observe que as perguntas tratam justamente de questões imprecisas (baixo, médio, alto). Este tipo de informação imprecisa é ideal para a construção de qualquer sistema *fuzzy*.

Tabela B.1. Questionário para obtenção de conhecimento dos especialistas na detecção prática de cio.

INFORMAÇÃO ADQUIRIDA	PERGUNTA	Valor Atribuído [0 a 100]
CICLO ESTRAL	Para uma vaca que apresentou cio há menos de 16 dias, qual a chance de o animal estar no cio? Baixa, média ou alta?	
CICLO ESTRAL	Para uma vaca que apresentou cio há mais de 24 dias, qual a chance de o animal estar no cio? Baixa, média ou alta?	
CICLO ESTRAL	Para uma vaca que apresentou cio há exatamente 31 dias, qual a chance de o animal estar no cio? Baixa, média ou alta?	
CICLO ESTRAL	Para uma vaca que apresentou cio há exatamente 35 dias, qual a chance de o animal estar no cio? Baixa, média ou alta?	
CICLO ESTRAL	A chance do ciclo estral ocorrer em 21 dias é muito maior do que a chance de ocorrer em 19 ou 22 dias?	

CICLO ESTRAL	A chance do ciclo estral ocorrer em 21 dias é maior, muito maior ou igual à chance de ocorrer em 18 ou 23 dias?	
CICLO ESTRAL	A chance do ciclo estral ocorrer em 21 dias é maior, muito maior ou igual à chance de ocorrer em 17 ou 24 dias?	
CICLO ESTRAL	Se a vaca pariu há menos de 50 dias, qual a chance de ela estar no cio? Baixa, média ou alta?	
CICLO ESTRAL	Se a vaca pariu há menos de 70 dias, qual a chance de o animal estar no cio? Baixa, média ou alta?	
CICLO ESTRAL	Se a vaca pariu há exatamente 90 dias, qual a chance de o animal estar no cio? Baixa, média ou alta?	
AGORA CONSIDERANDO QUE A VACA ESTÁ DENTRO DO PERÍODO ESPERADO PARA ENTRAR NO CIO:		
AUMENTO NA ATIVIDADE	Se a sua atividade é 80% maior do que a média dos últimos 8 dias, qual a chance de o gado estar no cio (não silencioso)? A chance é Baixa, média ou alta?	
AUMENTO NA ATIVIDADE	No dia em que ela se movimenta 1 vez a mais do que a média (incremento de 100%), qual a chance de ela estar no cio?	
AUMENTO NA ATIVIDADE	No dia em que ela se movimenta 1,5 vezes a mais do que a média (incremento de 150%), qual a chance de ela estar no cio?	
AUMENTO NA ATIVIDADE	No dia em que ela se movimenta 2 vezes a mais do que a média (incremento de 200%), qual a chance de ela estar no cio?	
AUMENTO NA ATIVIDADE	No dia em que ela se movimenta 2,5 vezes a mais do que a média (incremento de 250%), qual a chance de ela estar no cio?	
AUMENTO NA ATIVIDADE	No dia em que ela se movimenta 3 vezes a mais do que a média (incremento de 300%), qual a chance de ela estar no cio?	
AUMENTO NA ATIVIDADE	No dia em que ela se movimenta mais do que 3,5 vezes a mais do que a média (incremento maior que 350%), qual a chance de ela estar no cio?	
AUMENTO NA ATIVIDADE	Durante os meses de verão a vaca se movimenta igual, mais ou menos do que nos meses de inverno?	
AUMENTO NA ATIVIDADE	Quantos dias devem ser utilizados para a obtenção da movimentação média de uma vaca? 4, 6, 8 ou mais?	
AUMENTO NA ATIVIDADE	Nos casos de vacas com grande variação no padrão de movimentação, que se movimentam muito em um dia e pouco em outro, qual incremento na movimentação caracteriza um estado de cio? 100%, 200%, 300% ou mais?	

AUMENTO NA ATIVIDADE	Se no período da noite e manhã a movimentação da vaca foi abaixo da média e no período da tarde a movimentação for 1,5 vezes maior (150%) qual a chance de ela estar no cio? Alta, média ou baixa?	
AUMENTO NA ATIVIDADE	E se no caso anterior a movimentação à tarde for mais de 2x maior? A chance é alta média ou baixa?	
AUMENTO NA ATIVIDADE	E se o incremento na atividade for 2x maior na madrugada e menor do que a média durante o dia. Qual a chance de ela estar no cio, baixa, média ou alta?	
AUMENTO NA ATIVIDADE	E se na manha ou à noite houve apenas um incremento de 20% seguido de um incremento de 150%. Qual a chance de ela estar no cio, baixa, média ou alta?	
PROD. LEITE	Dados sobre a queda da produção de leite no dia de cio são pequenos, razoáveis ou grandes indícios da presença do cio?	
AÇÃO VETERINÁRIA	Com a administração de prostaglandina o cio é induzido dentro de 11 dias. A partir do 3º dia, qual a chance da ocorrência do estro?	
AÇÃO VETERINÁRIA	Quanto a pergunta anterior, a partir do 5º dia a chance de cio é igual, menor ou muito menor?	
AÇÃO VETERINÁRIA	E a partir do 8º dia a chance de cio é igual, menor ou muito menor?	
AÇÃO VETERINÁRIA	Para as vacas que estão recebendo medicação para IATF, qual a chance de elas eventualmente entrarem no cio? Baixa, meia ou alta?	

O objetivo das perguntas do questionário é determinar sobre as diversas influências na manifestação do cio. Existem muitas considerações que um especialista faz antes de tomar a decisão sobre a presença do cio. Procurou-se avaliar sobre as variáveis de dias do ciclo estral, incremento na atividade, alterações na produção de leite e o uso de hormônios que induzem o cio, prática esta comum em fazendas de grande porte, que alteram a manifestação do cio e que devem ser consideradas também como dados de entrada nos sistemas automáticos de detecção de cio.

Para cada informação questionada foi pedido que o especialista atribuisse um valor de 0 a 100 para indicar a importância relativa entre cada questão. Questões com atribuições zero indicam que a pergunta não tem relevância alguma com o cio, enquanto que valores 100 indicam que a pergunta refere-se a um fator altamente influente sobre o cio. Os resultados obtidos com estes valores atribuídos para cada questão servem para que o sistema *fuzzy* reconheça quais as regras têm a maior relevância na tomada de decisão.

Além do corpo de orientação deste trabalho também foram consultados pesquisadores da Alemanha no *Institut für Agrartechnik Bornim*. Outros pesquisadores, Veterinários, Zootecnistas e Agrônomos também foram consultados. Contudo, optou-se por não divulgar seus nomes.

Cabe colocar que houve uma dificuldade em se encontrar pesquisadores detentores do conhecimento técnico e prático para responderem ao questionário, necessário para a obtenção de informações. Muitos pesquisadores foram contatados, porém sem sucesso na extração de conhecimento. No entanto, este problema foi contornado com a obtenção de conhecimento diretamente com os experientes funcionários da fazenda (os reais especialistas na detecção de cio) e os funcionários da empresa DeLaval, em visitas a própria empresa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMENDOLA, M. et al. Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos *fuzzy*. **BIOMATEMÁTICA** – IMMEC, 2004, 14, p. 87-92, 2004.
- ARMSTRONG, D.V. Heat stress interactions with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*. v. 77, p. 2044-2050. 1994
- ARNEY, D. R.; KITWOOD, S.E.; PHILLIPS, C.J.C. The increase in activity during oestrus in dairy cows. **Applied Animal Behavior Science**, v. 40, p. 211-218, 1994.
- BADINGA L.; THATCHER W.W.; DIAZ T.; DROST M.; WOLFENSON D. Effect of environmental heat stress on follicular development and steroidogenesis in lactating dairy cows. **Theriogenology**, v.60, p 1139-1151, 2003
- BAMBER, D. The area above the ordinal dominance graph and the area below the receiver operating characteristic graph. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 12, p. 387-415. 1975
- BÁRDOSSY, A.; DUCKSTEIN, L. *Fuzzy rule-Based Modeling with Applications to Geophysical, Biological and Engineering Systems*. **CRC Press**, Boca Raton, USA, 232 p, 1995
- BERMAN, A.; FORLMAN, Y.; KAIM, M.; MARNEM, M.; HERZ, Z.; WOLFENSEN, A.; ARIELI, A.; GRABER, Y. Upper critical temperatura and torced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. **Journal of Dairy Science**, v.68, p 1488-1495. 1985
- BREHME,U.; LAUFELD, P.; SHERPING, E.; WENER, D.; LIBERATI, P.; ZAPPAVIGNA, P. Sensor-aided Electronic Measurements of Physiological Animal Data for Optimization from Herd Management in Dairy Cows. **ASAE**, California, 2001, Paper n. 013092.
- CASTANHO, M.J.P. Construção e avaliação de um modelo matemático para prever a evolução do câncer de próstata e descrever seu crescimento utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy*. Tese de Mestrado - **Banco de teses - Unicamp**. Campinas, SP. 2005
- CARTMILL, J.A.; EL-ZARKOUNY, S.Z.; HENSLEYZ B.A.; ROZELL, T.G., SMITH, J.F.; STEVENSON, J.S. An alternative AI breeding protocol for dairy cows exposed to elevated ambient temperatura before or after calving or both. **Journal of Dairy Science**, v. 84, p. 799-806. 2001.
- COX, J.F et al. Sincronización de estros con GnRH y Prostaglandina F2(alfa) en vacas Holstein Friesian en confinamiento. **Arch. med. vet.**, vol.31, no.1, p.19-25. ISSN 0301-732X. 1999.

DEMETER ASSOCIAÇÃO BIODINÂMICA. **Normas de Produção Demeter**. Botucatu, 2005. 27p.

DE MOL, R.M. ;WOLDT, W.E. Application of *fuzzy* logic in automated cow status monitoring. **Journal of Dairy Science**, The Netherlands, v. 84, pp. 400-410, 2001.

DE MOL, R.M. **Automated Detection of Oestrus and Mastitis in Dairy Cows**. 2000. 178 p. University of Wageningen, The Netherlands.

DETILLEUX, J. ARENDT, J. LOMBA, P. LEROY, P. Methods for estimating areas under receiver –operating characteristic curves: illustration with somatic-cell scores in subclinical intramammary infections. *Preventive Veterinary Medicine*, v. 41, p. 75-88. 1999.

DOBSON, H., TEBBLE, J.E., SMITH R.F. WARD W.R. Is stress really all that important? United Kingdom, **Theriogenology**, v. 55, p 65-73, 2001.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite**, Juiz de Fora, 2006. Disponível em: <<http://www.cnp.gl.embrapa.br/producao/02producao/tabela02.18.html>>. Acesso em: mar. 2006.

EMBRAPA. **Gado de Corte**, Juiz de Fora, 1998. Disponível em: <<http://www.cnp.gl.embrapa.br/publicações/doc/doc48/03cicloestral.html>>. Acesso em: abril. 2007.

ERADUS, W.J.; SCHILTEN, H.; UDINK TEN CATE, A.J. Oestrus detection in dairy cattle using a *fuzzy* inference system. **IFAC Application and Ergonomics in Agriculture**, Athens - Greece, 14-17, p. 185-188, jun. 1998.

FIRK, R. et al. Automation of oestrus detection in dairy cows: a review. **Livestock Production Science**, Germany, v. 75, p. 219-232, 2002.

FIRK, R. et al. Improving oestrus detection by combination of activity measurements with information about previous oestrus cases. **Livestock Production science**, Germany, v. 82, p. 97-103, 2003.

FRENCH, P.D.; NEBEL R.L. The simulated cost of extended calving intervals in dairy herds and comparison of reproductive management programs. Oregon State University, Virginia, 2003.

GALPARSORO, L.U.; FERNANDÉZ, S.P. Curva ROC, **Cad. Aten. Primária**, v.5. n. 4, p.229-235. 1998

GANGWAR, P.C.; BRANTON, C.C.; EVANS, D.L. Reproductive and physiological responses of Holstein heifers to controlled and natural climatic conditions. **Journal of Dairy Science**. v. 48, p 222-227. 1965.

GOMES, A. K. Análise do Conhecimento Extraído de Classificadores Simbólicos

utilizando Medidas de Avaliação e de Interessabilidade. Tese de Mestrado USP – São Carlos, 2002.

HAFEZ, E.S.E.; HAFEZ B. **Reprodução Animal**. Barueri, SP: Manole, 513p., 2004.

HUBER, J. T. Alimentação de vacas de alta produção sob condições de estresse térmico. In: **Bovinocultura leiteira**. Piracicaba: FEALQ. 1990. p.33 - 48.

JAMSHIDI, M.; VADIEE, N.; ROSS, T.J. *Fuzzy Logic and Control: Software and Hardware Applications*. **PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs**, New Jersey, 1993.

JORDAN, E.R. Effects of Heat Stress on Reproduction. **Journal of Dairy Science**, v 86. (E.Supl), p. e104-e114, 2003.

KIDDY, C.A. Variation in physical activity as an indicator of oestrus in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 60, p. 235-243, 1977.

KLIR, YUAN. *Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Upper Saddle River: Ed. Prentice Hall PRT, 1995.

LEITE, T.E. Eficiência produtiva e reprodutiva em vacas leiteiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol. 31, n. 3, maio 2001.

LEWIS, G.S.; NEWMAN, S. K. Changes throughout oestrous cycles of variables that might indicate oestrus in dairy cows. **Journal Dairy Science**, v. 67, p. 146-152. 1984.

LÓPEZ, H.; A brief report on the relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. **Applied Animal Behavior Science**, Madison USA, v. 88, p. 359-363, 2004.

LÓPEZ, H.; SHIPKA, M.P. Association of Flooring surface to estrous behaviour in lactating dairy cows as determined by radiotelemetric estrous detection. **ASAE**, Texas, USA, paper n. 701P0203, p. 296-302, 2003.

LÓPEZ-GATIUS, F. Is fertility declining in dairy cattle? A retrospective study in northeastern Spain. **Theriogenology**, v.60, p. 89-99, 2003.

LÓPEZ-GATIUS, F. SANTOLARIA, P.; MUNDET, I. YÁÑIZ J.L. Walking activity at estrus and subsequent fertility in dairy cows. **Theriogenology**, v.63, p. 1419-1429, 2003.

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. **Journal of Dairy Science**, The Netherlands, v. 80, n. 6, p. 1098-1105, 1997.

MARTINEZ, F. Effect of the interval between estrus onset and artificial insemination on sex ratio and fertility in cattle: a field study. **Theriogenology**, v. 67, p. 1264 – 1270, 2004.

MCNEILL, F.M.; THRO, E. *Fuzzy Logic - A Practical approach*. **Academic Press Inc.** p.1-82, 1994.

MELE, M.; SECCHIARI, P.; SERRA, A.; FERRUZZI, G.; PAOLETTI, F.; BIAGIONI, M. Application of the 'tracking signal' method to the monitoring of udder health and oestrus in dairy cows. **Livestock Production Science**. v. 72, p. 279-284, 2001.

MITCHELL, R. S; SHERLOCK, R.A.; SMITH, L. A. An investigation into the use of a machine learning for determining oestrus in cows. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v. 15, p. 195-231, 1996.

MOORE, K.; THATCHER, W.W. Major advances associated with reproduction in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**. v. 89, p. 1254-1266. 2006

NEBEL, R.L. et al. Automated electronic systems for the detection of oestrus and timing of AI in cattle. **Animal Production Science**, Blacksburg, v. 60, p. 713-723, 2000.

NEBEL, R.L.; BAME, J. H.; MCGILLIARD, M. K. Radiotelemetered measures of mounting activity for detection of estrus in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v. 75 (Suppl 1.) p. 242 1995

ORIHUELA A. Some factors affecting the behavioral manifestation of oestrus in cattle: a review. **Applied Animal Behavior Science**, v.70, p1-16, 2000.

PIRES,M.F.A. et al. Reflexos do Estresse Térmico no Comportamento das Vacas em Lactação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1., 1998, Piracicaba. **Anais...** FEALQ, 1998. v.1., p. 68 – 69.

REZENDE, S. O. *Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações*. São Paulo: Manole, 2003.

RORIE, R.W. Application of electronic estrus detection technologies to reproductive management of cattle. **Theriogenology**, 57, p. 137-148, 2002.

ROTH, H.; SCHLÜNSEN, D.; SCHÖN, H., PAUL, W. SPECKMANN, H. Computer-aided oestrus detections in dairy cattle. **American Society of Agricultural Engineers**, p. 1-11, n . 87-4018,1987.

SCHOFIELD,, S.A.; PHILIPS, C.J.C.; OWENS, A,R. Variations in milk production, activity rate and electrical impedance of cervical mucus over the oestrus period of dairy cows. **Animal Reproduction Science**, v. 24, p 231-248. 1991

SENGER, P.L., The oestrus detection problem: new concepts, technologies and possibilities. **Journal of Dairy Science**, v. 77, 2745-2753, 1994.

STEVENSON, J.S et al. Detection of estrus by visual observation and radiotelemetry in peripubertal estrus-synchronized beef heifers, **Journal of Animal Science**, v.74, n.4, p. 729-35, 1996.

STEVENSON, J.S.; BRITT, J.H.. Detection of estrus by three methods. **Journal of Dairy Science**.. v. 60, p. 1994. 1997

STEVENSON, J. S.; LAMB, G.C.; KOBAYASHI, Y.; HOFFMAN, D.P. Luteolysis during two stages of the oestrous cycle: subsequent endocrine profiles associated with radiotelemetrically detected oestrus in heifers. **Journal of Dairy Science**, v. 81, p. 2897-2903. 1998.

TITTO, E.A.L. Clima: Influência na Produção de Leite: Simpósio Brasileiro de Ambiência na Produção de Leite, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1., 1998, Piracicaba. **Anais...** FEALQ, 1998. v.1, p.10 – 23.

VARNER, M.; MAATJE, K., NIELEN, M. ROSSING, W. Changes in dairy cow pedometer readings with different number of cows in oestrus. In: Proc. 3° Int. Dairy Housing Conf. Am. Soc. Agric. Eng. Orlando. Fl. ASAE, St Joseph, MI, p.434-442, 1992

WATTS, T.L.; FUQUAY, J.W. Response and fertility of dairy heifers following injection with prostaglandin F2□ during early, middle and late diestrus. **Theriogenology**, v.23, n.4, p. 655-661, 1985.

WALKER, W. L.; NEBEL, R.L.; MCGILLIARD, M.K. Characterization of estrus activity as monitored by an eletronic pressure sensing system for the detetion of estrus. **Journal of Dairy Science**, v. 78 (Suppl 1) p. 307. 1995.

WILSON, S.J., MARION, R.S.; SPAIN, D.E.; SPIERS, D.E.; KEISLER, D.H.; LUCY, M.C. Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. Lactating cows. **Journal of Dairy Science**. v. 81, p. 2124-2131.1998.

WILLIAMSON, N.B.; MORRIS, R.S.; BLOOD, F.C.; CANNON, C.M.; WRIGHT, P.J. A study of oestrus behavior and oestrus detection methods in a large commercial dairy herd. The relative efficiency of methods of oestrus detection. **Oestrus signs and behavior** v. 91, p. 50-58. 1972.

WOLFENSON, D.Z.; ROTH, Z.; MERDAN, R. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. **Animal Reproduction Science**. v. 60-61, p. 535-547.2000.L

YÁÑIZ, J.L.; SANTOLARIA, P.; GIRIBET, A.; LÓPEZ-GATIUS, F. Factors affecting walking activity at estrus during postpartum period and subsequent fertility in dairy cows. **Theriogenology**. v. 66, p. 1943-1950. 2006

ZADEH, L.A. **Fuzzy Sets**. Information and Control 8, p.338-353, 1965.

ZADEH, L.A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. **IEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v.SMC-3, n.1, p.28-44.