

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"  
Departamento de Engenharia Rural

**CONTRIBUIÇÕES À ZOOTECNIA DE PRECISÃO  
NA PRODUÇÃO INDUSTRIAL  
DE AVES E SUÍNOS NO BRASIL**

**Iran José Oliveira da Silva**

*Texto sistematizado como parte dos requisitos apresentado à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para concurso de Livre Docência na especialidade de Construções Rurais, junto ao Departamento de Engenharia Rural.*

Piracicaba  
Estado de São Paulo - Brasil  
Abril de 2007

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**  
**Departamento de Engenharia Rural**

**CONTRIBUIÇÕES À ZOOTECNIA DE PRECISÃO NA  
PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE AVES E SUÍNOS NO BRASIL**

**Iran José Oliveira da Silva**

Texto sistematizado como parte dos requisitos apresentados à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, para o concurso de Livre Docência na especialidade Construções Rurais, junto ao Departamento de Engenharia Rural.

**Piracicaba**  
**Estado de São Paulo – Brasil**  
**Abril de 2007**

## Índice

- I. CONSIDERAÇÕES GERAIS**
- II. EVOLUÇÃO NO BRASIL**
- III. LINHAS DE PESQUISA**
  - 3.1. IDENTIFICAÇÃO ELETRÔNICA**
    - 3.1.1. Introdução
    - 3.1.2. Identificação com transponders injetáveis
    - 3.1.3. Contribuição científica da linha de pesquisa
    - 3.1.4. Aplicabilidade ao produtor
  - 3.2. VISÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE IMAGEM COMO FERRAMENTAS DA ZOOTECNIA DE PRECISÃO**
    - 3.2.1. Introdução
    - 3.2.2. Análise de imagem e visão computacional
    - 3.2.3. Contribuição científica da linha de pesquisa
    - 3.2.4. Aplicabilidade ao produtor
  - 3.3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: LÓGICA FUZZY E REDES NEURAIIS**
    - 3.3.1. Introdução
      - 3.3.1.1. Sistemas inteligentes
      - 3.3.1.2. Sistemas especialistas
    - 3.3.2. Lógica *fuzzy*
      - 3.3.2.1. Aplicação na produção animal
      - 3.3.2.2. Aplicação da lógica fuzzy nos trabalhos desenvolvidos
    - 3.3.3. Redes neurais artificiais (RNA's)
      - 3.3.3.1. Utilização de redes neurais artificiais em outras áreas
      - 3.3.3.2. Utilização de modelos matemáticos na produção animal
      - 3.3.3.3. Utilização de redes neurais artificiais na produção animal e na área de ambiência e bem-estar animal
      - 3.3.3.4. Aplicação das redes neurais artificiais nos trabalhos desenvolvidos
        - 3.3.3.4.1. Redes neurais artificiais probabilísticas (PNN) e o reconhecimento de padrões
        - 3.3.3.4.2. Análise combinada
        - 3.3.3.4.3. Análise comparativa
        - 3.3.3.4.4. Avaliação da eficiência metodológica
    - 3.3.4. Contribuição científica da linha de pesquisa
    - 3.3.5. Aplicabilidade ao produtor
- IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS**
- V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

*“O trabalho, dignifica o homem, a sua história e a sua geração.  
A sua história e a sua geração serão sempre traçadas pelo  
seu caráter e sua dedicação...”*

*Dedico, á todos aqueles que com perseverança,  
contribuem, para essa caminhada.  
Meus pais.  
Meus irmãos.  
Meus amigos.  
Meus alunos.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela oportunidade da vida e pela presença constante no meu dia-a-dia.

Ao Departamento de Engenharia Rural e seus membros pelo apoio e incentivo.

Aos meus alunos de graduação e pós graduação, grandes parceiros nas pesquisas e pela intensa participação no meu crescimento pessoal e científico.

À Professora Dra. Késia Oliveira da Silva, pela colaboração, pela atenção dispensada e pela amizade dispensada nas mais diferentes etapas da minha carreira.

Ao Professor Dr. Antonio Sanches de Oliveira, pelo incentivo, colaboração espontânea e insistente durante a preparação desse material.

À equipe do NUPEA (Núcleo de Pesquisa em Ambiente), da ESALQ/USP pela colaboração, e compreensão de todos durante essa fase.

À FAPESP, CNPQ, que apóiam financeiramente, as pesquisas aqui reportadas.

À Fabiana Komatsu, pela parceria e ajuda nos trabalhos durante esse período.

Ao Arquiteto design Renato Baldin, pela colaboração na confecção desse material.

# CONTRIBUIÇÕES À ZOOTECNIA DE PRECISÃO NA PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE AVES E SUINOS NO BRASIL

## I. CONSIDERAÇÕES GERAIS

**N**os últimos anos, o setor produtivo animal apresentou profundas modificações em todas as áreas do conhecimento a ele ligadas. Com o avanço das pesquisas científicas, novos instrumentos de planejamento, de análise, de execução, avaliação e de tomada de decisões são aplicados em todos os estágios de produção industrial de animais.

O incremento tecnológico, principal responsável pelas mudanças desse cenário, tornou-se mais visível após o advento dos computadores e de sua popularização no meio científico, a partir da década de 80, fato que dilatou ainda mais a possibilidade de responder a questões de ordem prática com soluções tecnológicas em tempo real, de acordo com a necessidade do usuário.

Novos problemas, atrelados aos futuros desafios produtivos, são emergentes, visto que a tendência nacional e internacional gira em torno do consumidor, mais bem informado quanto à origem dos produtos animais, preocupado com a situação de bem estar dos animais e principalmente com a influência das etapas anteriores à criação na qualidade do produto final, além dos aspectos ligados ao meio ambiente. Isso deflagra uma situação nova de mercado, acompanhando as modificações exigidas uma evolução tecnológica relacionada aos aspectos produtivos.

Os aspectos relacionados à redução de perdas ficaram cada vez mais evidentes e importantes na era da informação, juntamente com as ferramentas disponíveis para o desenvolvimento de sistemas inteligentes.

O avanço tecnológico foi observado, primeiramente, com o advento da **Agricultura de Precisão**, que passou a ser definida como o uso de técnicas e de tecnologias avançadas que visam a diminuir ou a erradicar as perdas localizadas e a elevar a produtividade agrícola. Sua característica fundamental é o controle preciso da

utilização de recursos (FIALHO, 1999), tratando-se de uma estratégia de manejo que lança mão da tecnologia da informação para coletar e para apresentar dados de diferentes origens, resultando no processo facilitado de tomada de decisão (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1997 apud ADRIAN et al, 2005). Muitas ferramentas de análise, de planejamento, de representação, de coleta, de atuação e de predição de variáveis-respostas são largamente aplicadas à agricultura moderna, de precisão. Dentre elas, o uso de GIS (*Geographical Information System*), de GPS (*Global Positioning System*), de sistemas de coleta de dados (*Data Loggers*), de inteligência artificial, de eletrônica.

Nesse contexto, a agricultura de precisão surge, então, como forma de aumentar a produtividade; reduzir a área de utilização; reduzir as perdas; aplicar racionalmente os insumos; aumentar a segurança alimentar; otimizar os recursos naturais; preservar o meio ambiente.

Assim como na agricultura, na produção animal, foram introduzidas novas ferramentas e técnicas, que se vêm empregando no gerenciamento, na implantação de estratégias de alimentação, no controle de fertilidade, na promoção da saúde, do conforto, do bem-estar animal, e da segurança alimentar e na preservação ambiental. Surgiu, então, um novo conceito na produção de alimentos: a **Zootecnia de Precisão**, que pode ser entendida como a utilização de técnicas especiais e de ferramentas que possibilitem manejos específicos em situações de campo. O uso de tais técnicas e/ou ferramentas é direcionado para a tomada de decisões e para ações mais precisas do que aquelas anteriormente tomadas, que se baseavam apenas em “valores médios” ou “valores típicos” (BANDEIRA F, 2003).

O aumento da produtividade animal está diretamente relacionado a um volume maior de informações, o que torna difícil e complexo o crescimento da atividade sem nenhum auxílio direto na organização dessas respostas. Assim, a utilização de novas tecnologias de informação e a criatividade do profissional na tomada de decisão viabilizam o incremento da produção. Com efeito, o uso de métodos avançados de controle, por meio da automação de sistemas com o intuito de se diminuir as perdas decorrentes do processo produtivo e de aumentar a eficiência, torna-se uma realidade na atual produção competitiva.

Atrelados ao conceito de **Zootecnia de Precisão**, surgem também, como demanda do mercado, os conceitos de bem-estar animal, controle de qualidade e rastreabilidade de processos, que são bastante difundidos e que funcionam como modernizadores dos sistemas produtivos, sem os quais não será possível atingir futuras fronteiras de comercialização agrícola. A ciência tem acompanhado essas necessidades, que estimulam novas pesquisas, o avanço em diversas áreas e a inserção delas no setor produtivo, como a eletrônica, a inteligência artificial, a automação de processos, o controle ambiental, entre outros mecanismos importantes.

Essas mudanças refletem-se também no mercado interno brasileiro, que, cada vez mais, requer respostas aos avanços tecnológicos no setor produtivo. Percebe-se, então, o aparecimento de linhas de pesquisa voltadas para a área de Zootecnia de Precisão, até então restritas a sistemas eletrônicos de informação; com o passar dos anos agregaram novas informações gerando maior eficiência nas respostas ao usuário final.

Em função dessas mudanças, houve, portanto, a necessidade da criação e/ou da disponibilização de instrumentos e de ferramentas que propiciassem a aquisição precisa de dados para uma análise adequada e para a posterior tomada de decisões baseada nesses dados.

Neste texto apresentam-se as contribuições à **Zootecnia de Precisão** no Brasil, sob a ótica dos estudos realizados durante alguns anos, no Núcleo de Pesquisa em Ambiente (NUPEA) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), um dos pioneiros do país em pesquisa nessa área do conhecimento.

## II. EVOLUÇÃO NO BRASIL

O surgimento da zootecnia de precisão, em forma de artigos de divulgação da temática para o público e de chamamento para os pesquisadores da área, surgiu, no país, com os textos de SILVA & NÄÄS (1998)<sup>1</sup>; e SILVA (1998)<sup>2</sup>. Nesses artigos, introduziram-se as definições específicas da Zootecnia de Precisão, como um pacote tecnológico que considera as características tecnológicas do sistema em relação ao controle e à aquisição das informações e das variáveis do processo de produção. Nessa visão panorâmica, dois aspectos apresentam maior significância na produção intensiva: o primeiro relacionado à utilização de sistemas automatizados que controlam o ambiente de produção (manejo correto de equipamentos de controle ambiental, como ventiladores e nebulizadores, cortinas etc.), por meio de sensores e de atuadores, interligados a softwares inteligentes. Relaciona-se ainda sistemas automatizados de controle de alimentação, de controle de doenças, de distribuição de água e de alimentos nos sistemas confinados. Já o segundo aspecto está relacionado aos custos dos sistemas e à qualidade do meio ambiente. Essa visão e a aplicação desses conceitos estendem-se às áreas de construções rurais e de ambiência, de manejo e de produção animais, envolvendo os profissionais das áreas correlatas e também das áreas de suporte, visando a uma ação conjunta e multidisciplinar em torno da temática **“Zootecnia de Precisão”**.

Nesse período iniciaram-se então, as pesquisas e a formação de equipes, que focalizaram a **“Zootecnia de Precisão”** como área de pesquisa, vinculada a diferentes grandes áreas, como, no caso; engenharia agrícola, agrônômica e zootecnia, dentre outras. Essas equipes de trabalho constituíram-se inicialmente na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP), que iniciaram juntas as pesquisas, seguidas da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), da Universidade de São Paulo (USP), o Laboratório

---

<sup>1</sup> SILVA, I.J.O.; NÄÄS, I.A.; Zootecnia de Precisão: um novo conceito e um desafio para a ambiência na engenharia agrícola. In: **Notessalq**, n.2. Agosto, 1998.p.6.

<sup>2</sup> SILVA, I.J.O.; Zootecnia de Precisão e Ambiência, as novidades da atividade. IN: **AgropecuáriaHoje**, ano IV, n.21, Setembro, 1998.p.15.

de Automação Agrícola (LAA), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP), a Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), a Universidade Federal de Lavras (UFLa) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Já no ano de 2000, NÄÄS publicou o artigo “Precision Animal Production: using traceability for improving meat production”, no Congresso Latinoamericano de Ingenieria Agrícola, onde expôs a importância dessa nova área na rastreabilidade de produtos de origem animal, principalmente nas relações de exportação de produtos, e as exigências dos mercados importadores. A temática ainda foi apresentada por NÄÄS (2001), no e-journal da International Commission of Agricultural Engineering.

No auge dos primeiros questionamentos, houve o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), que aprovou um projeto temático em Zootecnia de Precisão, permitindo as equipes formadas pelas instituições FEAGRI/UNICAMP; ESALQ/USP e FZEA/USP iniciarem suas atividades relacionadas à Zootecnia de Precisão.

Diante dos grandes avanços internacionais no setor, vários foram os questionamentos sobre as tecnologias disponíveis e os possíveis empregos na produção agropecuária brasileira. Além de se considerarem os aspectos tecnológicos envolvidos, houve questionamentos em relação ao custo-benefício e a sustentabilidade tecnológica frente à realidade do produtor brasileiro. Tais assuntos, por diversas vezes ao longo dos anos, foram discutidos nos eventos promovidos pela equipe, como os Encontros de Zootecnia de Precisão (2001, 2002, 2003 e 2004) e os Workshops Internos de Zootecnia de Precisão, eventos fechados para a equipe envolvida nos trabalhos, e os Workshops Externos de Zootecnia de Precisão, abertos para a comunidade científica e para o setor produtivo em geral. Durante alguns anos, os temas foram exaustivamente discutidos, até que cada equipe se firmou nas linhas de pesquisa a seguir, com contribuição simultânea entre as mesmas.

Com o avanço da temática e de acordo com a cadeia produtiva em que o conceito de “**Zootecnia de Precisão**” foi aplicado, adotaram-se nomes específicos como Avicultura de Precisão, Suinocultura de Precisão, e Bovinocultura de Precisão, dentre outros.

Dessa forma, de acordo com as várias tecnologias disponíveis, além das até então empregadas, foram se distinguindo temáticas como linhas de pesquisas, segundo as tendências e a competência de cada equipe de trabalho envolvida. Definidas as linhas de pesquisa, passaram a alvo de estudo de alunos de iniciação científica em apoio aos projetos de dissertação de mestrado e de teses de doutorados, aos programas de pós-doutoramento, que, no caso dos trabalhos desenvolvidos no NUPEA/ESALQ, foram agregados ao programa de Pós-Graduação em Física do Ambiente Agrícola.

### III. LINHAS DE PESQUISA:

O conhecimento acadêmico e técnico-científico dos sistemas tradicionais de produção animal e a recente área de **“Zootecnia de Precisão”** têm se fortalecido como observado nos Institutos de Pesquisa e no Departamento de Engenharia Agrícola e de Produção Animal das universidades americanas e européias, desde meados dos anos 80. A facilidade e o nível tecnológico disponíveis nesses países alavancaram as pesquisas aplicadas ao setor produtivo, com a inserção de sensores, de atuadores, de sistemas e de protocolos de comunicação, bem como de softwares aplicados à automação dos processos produtivos. Essas inovações, porém, têm um vínculo muito forte com a microeletrônica aplicada, o que se impôs como uma inovação para os profissionais da área, na grande maioria com formação acadêmica na área biológica. Surgiu então, a necessidade do envolvimento de profissionais multidisciplinares para não só atender à demanda da pesquisa científica e desenvolver tecnologias adaptadas à nossa realidade, como também para testar a viabilidade técnica e econômica dos sistemas importados, que chegaram ao país como tecnologia de ponta para o setor.

Com o surgimento dessas demandas científico-tecnológicas e seu uso junto ao setor produtivo, criaram-se junto à nossa equipe de trabalho, as seguintes linhas de pesquisa, como ferramentas de suporte e de análise na área de Zootecnia de Precisão:

1. Identificação eletrônica;
2. Visão computacional e análise de imagem;
3. Inteligência artificial: lógica fuzzy e redes neurais;

Gradativamente, essas linhas de pesquisa foram desenvolvendo-se, em paralelo com as pesquisas relacionadas à ambiência e ao bem-estar animal, em função das exigências internacionais para a produção de alimentos, bem como das barreiras técnicas impostas ao setor produtivo. Tais linhas de pesquisa produziram de acordo com a tendência e com os avanços da modelagem matemática envolvendo as predições de processos e de sistemas nas diferentes áreas do conhecimento, e tornaram-se uma grande aliada dos processos de automação e de precisão nos eventos da produção animal.

## 3.1. IDENTIFICAÇÃO ELETRÔNICA

### 3.1.1. Introdução

**A** necessidade de identificar eletronicamente os animais formou-se por diferentes motivos e objetivos, todos eles altamente explicáveis, em função das suas demandas atendidas, seja na pesquisa, seja no maior controle operacional ou produtivo. Também dessa forma, surgiram os sistemas simples de identificação, citando-se como exemplo, as marcações a ferro e os brincos, dentre outros.

Porém, nas últimas décadas, o aumento da produção animal, pressionada por uma crescente procura de alimentos, tem-se caracterizado pelo aumento no tamanho das unidades produtivas e pela concentração de animais em unidades de produção, dificultando o registro dos dados de cada animal em particular. Criaram-se então, os sistemas automáticos de identificação eletrônica, que podem facilitar e auxiliar, com precisão, diferentes eventos, como a detecção de doenças, a resposta fisiológica ao estresse ambiental, a ingestão de alimentos, a atividade física e o impacto ambiental causado pelo sistema de produção, promovendo melhor controle na propriedade.

No início dos anos 70, institutos de pesquisas do Reino Unido, da Alemanha e dos E.U.A. desenvolveram os primeiros sistemas de identificação eletrônica de animais. O Instituto Nacional de Engenharia Agrícola de Silsoe (Reino Unido) e o Instituto de Engenharia Agrícola em Wageningen (Holanda) desenvolveram um sistema automático de identificação baseado na técnica de modulação de código de pulso (sistema passivo). Tais sistemas de identificação foram produzidos com componentes convencionais e unidos num colar para o pescoço do animal (BRIDLE, 1973). Ao mesmo tempo os laboratórios científicos de Los Alamos (E.U.A.) desenvolveram um sistema eletrônico passivo de identificação com monitoração de temperatura que poderia ser ativado remotamente, transmitindo as informações a um receptor (HOLM, 1976). Nessa direção, na década de 80 os circuitos integrados especiais foram desenvolvidos de forma a minimizar o tamanho e a reduzir o custo dos *transponders* (KUIP, 1987).

Nos anos 90, as organizações oficiais testaram sistemas para a identificação e o registro de todos os animais domésticos de exploração econômica, controlando-lhes os movimentos do nascimento ao abate. Na Holanda, 30% do rebanho leiteiro já eram identificados eletronicamente (ERADUS & ROSSING, 1994).

Com o aparecimento da “*vaca louca*” na Europa, as preocupações com os sistemas de produção animal aumentaram significativamente, gerando a necessidade de aumentar os controles, os registros, os históricos e conseqüentemente a rastreabilidade de produtos.

A União Européia preconiza a identificação de todos os animais (bovinos, suínos, caprinos e ovinos), para total controle do nascimento à linha de abate, definindo um padrão mundial para os dispositivos eletrônicos de identificação, assegurando a compatibilidade entre os sistemas dos diferentes fabricantes, possibilitando, dessa maneira, a ampla projeção do registro e a identificação de todos os animais (WISMANS, 1999). *Transponders* injetáveis, brincos eletrônicos e bolus intraruminais foram utilizados no processo de identificação eletrônica (ROSSING, 1999).

Seja qual for o dispositivo, um identificador eletrônico possui um transmissor que emite um número de série que permite identificar o animal e monitorar a sua atividade.

A aplicação da identificação eletrônica por meio de *transponders* passivos no controle de animais permite, por exemplo, controlar automaticamente a quantidade de ração que um animal qualquer devidamente identificado recebe. Existem tipos de comedouros que impedem o acesso de mais de um animal simultaneamente. Quando um animal se aproxima do comedouro, ele impede a entrada de outros. O comedouro possui um receptor que identifica o número do animal. Essa combinação entre transmissor e receptor só funciona a uma distância curta, quando o animal se aproxima do comedouro para alimentar-se (GOEDSEELS, 1992).

O receptor cria um campo eletromagnético (campo de ativação), que é usado pelo *transponder* para gerar a própria voltagem operacional, como uma fração de frequência de ativação, emitindo um sinal e comparando o número do animal aos de uma base de dados que contém registrados todos os animais da granja (ARTMANN, 1999). Com base nesses dados e na hora do dia, o comedouro libera uma determinada quantidade de ração, específica para aquele animal e atualiza a base de dados,

permitindo controlar a quantidade de ração consumida pelos animais individualmente, constituindo-se uma das importantes aplicações da “**Zootecnia de Precisão**”.

Uma fazenda experimental da Universidade do Estado de Iowa combinou um sistema de alimentação com a identificação eletrônica de matrizes suínas em gestação, em um rebanho permitindo às porcas exercitarem-se durante o período de gestação e conviverem em grupos sociais confinados, mantendo-se, porém, o controle do fornecimento de ração e o ganho diário de peso, quando comparados a duas formulações distintas. O sistema eletrônico de alimentação torna-se de grande eficiência quando os animais são alojados em grupos, porque controla a necessidade individual nutricional de cada matriz, evita comportamentos agressivos dentro do rebanho e garante o controle do peso, assegurando a máxima produtividade e aumentando a longevidade do rebanho (HOFF, 1998).

O uso de transmissores, por exemplo, pode ser mais interessante, no caso de animais de reprodução, que permanecem mais tempo na propriedade. Além do controle sobre o consumo de ração, o sistema também pode ser usado para registrar as cobrições, as vacinações, os nascimentos, os desmames, ou seja, a ocorrência de eventos em geral. Com registros adequados, as cobrições mais recomendáveis podem ser especificadas, em função do grau de parentesco dos animais e da data de utilização do macho. Informações semelhantes podem ser utilizadas para a inseminação artificial (FIALHO, 1999).

### **3.1.2. Identificação com transponders injetáveis**

Uma técnica de identificação é a Identificação Eletrônica, EID – “*Electronic identification*”, que se baseia no uso de dispositivos e equipamentos eletrônicos para detectar e reter algum código ou número de identificação, os “*transponders*” e os “*microchips*” são exemplos de identificadores eletrônicos.

A identificação eletrônica é uma tecnologia inovadora, que possui uma série de vantagens em relação aos métodos tradicionais, como a identificação por marcações, que exige o acompanhamento manual.

Em 1997, KETTLEWELL utilizou-se do sistema de radiotelemetria para registrar a temperatura interna e os batimentos cardíacos de aves, já que a monitoração das respostas fisiológicas dos animais é uma valiosa ferramenta para analisar o estresse térmico sobre os animais. As análises desses fatores e de sua influência sobre a manipulação dos animais pelo homem podem alterar significativamente os resultados, visto que os animais, sendo manipulados pelo homem, se estressam e, assim, não expressam suas reais condições fisiológicas.

O implante do sistema, além de fornecer as condições reais em que se encontra o animal, pode fornecer, em tempo real, os valores e também uma análise contínua das condições em que se encontram os animais, formando assim um bando de dados, que facilitam na tomada de decisões. O sistema foi testado em condições normais de ambiente e em condições de estresse térmico; o sistema consiste em implantar-se no animal, por procedimentos cirúrgicos um sensor de ECG (eletrocardiograma) encapsulado, figura 01, que emite ondas na frequência de radio para uma central de processamento.

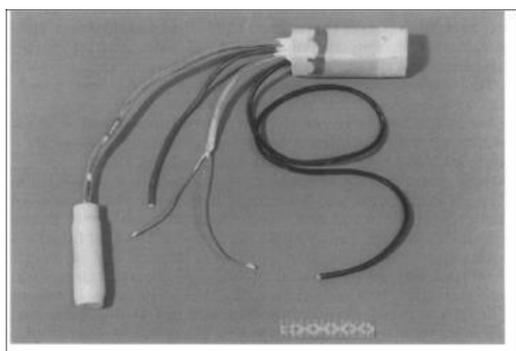


Figura 01: Sensor de ECG e T° corporal.

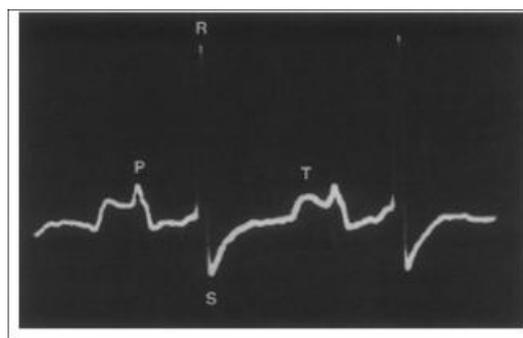


Figura 02: Sinais fisiológicos de batimentos cardíacos.

Esse sistema é apropriado para um controle de monitoramento contínuo de sinais fisiológicos (figura 02), facilitando o acesso às informações de estresse e de conforto dos animais.

Obter a identificação, ou o número de código, ou o número de registro do animal, contido internamente no “*transponder*”, é possível através de um aparelho leitor, que faz uso de um meio de comunicação sem fios, normalmente radiofrequência (RFID –

“Radio-frequency” ID), conforme a figura 03. Por isso, é dotado de uma antena transmissora e receptora, cuja função é ativar o “microchip” contido no “transponder” e dele obter o código de identificação como resposta a essa ativação.

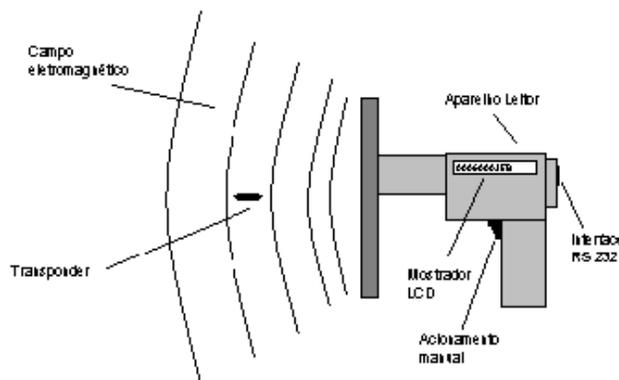


Figura 03. Sistema de identificação eletrônica.

O sistema de identificação por radio freqüência – RFID – consiste num identificador (“transponder”) do tipo passivo previamente programado com um número de identificação, encapsulado em cristal, para evitar a entrada de umidade e capaz de ser lido à distância, mediante o emprego de uma unidade de leitura do tipo ativa. Na prática o sistema funciona quando a unidade de leitura emite um fluxo de energia eletromagnética (onda de radio) que chega ao dispositivo identificador por meio de uma antena, que capta, armazena, analisa a informação e a ela responde, emitindo um novo fluxo de energia eletromagnética, por sua vez captado e analisado pela unidade de leitura. A resposta final é a tradução do sinal recebido na unidade de leitura e a visualização de um número de identificação, (GARCIA, 2004).

Seguindo essa tendência, iniciaram-se as avaliações de sistemas de identificação eletrônica com o uso de transponders e microchips, utilizando normalmente radiofreqüência (RFID – “Radio-frequency” ID). Com o advento da “vacalouca” e com a crise relacionada às exportações da carne bovina, em função da necessidade da rastreabilidade dos rebanhos, impôs-se um efeito propulsor para as pesquisas em identificação eletrônica na produção animal, logo estendido para as diferentes cadeias produtivas.

A inserção dessas novas tecnologias no país fez que pesquisadores questionassem a eficiência dos sistemas dos *transponders* e seus alcances de leitura. Segundo CARO et al. (2003)<sup>3</sup> os “*transponders*” utilizados na zootecnia de precisão são classificados como passivos, ou seja, não necessitam de baterias ou de qualquer outra fonte interna para entrar em funcionamento; utilizam-se de ondas eletromagnéticas que os leitores dissipam, porém apresentam somente a informação referente à identificação do objeto. Verifica-se que, para a leitura dos “*transponders*”, existem alguns problemas. ARTMANN (1999) afirma que, para uma boa leitura do “*transponder*” são essenciais a orientação do “*transponder*”, a redução de interferências externas vindas de outros aparelhos e de ondas eletromagnéticas, e também a intensidade com que a antena emite as ondas.

O material ao redor de onde o leitor está instalado pode também causar distúrbios no funcionamento do sistema. SCHWARTZKOPF-GENSWEIN ( ) descreve que pode ocorrer erro de até 2,4% creditado ao material ao redor do leitor e a ondas eletromagnéticas externas. Baseando-se nessas considerações, vários fatores interferem na eficiência de leitura das antenas.

Diante disso, CARO et al (2003) estudaram a eficiência de antenas fixas utilizadas em sistemas de identificação eletrônica de animais. Foram utilizadas antenas modelo LID 650, com dimensões 40 x 40 cm e altura de 5 cm. Elas foram instaladas numa rede local, 127 V e 60 Hz, que é o padrão brasileiro. Já os *transponders* utilizados foram da marca comercial Trovan, com dimensões de 2,12 X 11,5 mm, operando numa faixa de frequência de 128 kHz. Nessa pesquisa a equipe verificou que havia uma diferença grande de captação de respostas entre a antena e os *microchips* avaliados. De acordo com os dados apresentados nas figuras 4 e 5 abaixo, os autores verificaram que as antenas apresentaram, em aproximadamente 36% da sua área uma ocorrência de recepção dos sinais dos *transponders*, ao passo que 64% da área não obteve recepção de sinais. Os resultados evidenciados nas figuras mostram que a área cinza é a área em que a antena não apresenta sinal receptivo e, quando o apresenta, a área de recebimento do sinal é muito pequena, como se pode observar na cor vermelha. Esse

---

<sup>3</sup> CARO, I. W.; SILVA, I. J. O.; MOURA, D.J.; PANDORFI, H.; SEVEGNANI, K.B.; Eficiência das leitoras fixas utilizadas na identificação eletrônica de animais por rádio-frequência. *Revista Brasileira de Agroinformática*, Lavras, MG., v. 5, n. 2, p. 49-58, 2003.

fato demonstra a diferença entre as informações registradas e as informações fornecidas pelo fabricante, na verdade, apenas um dos resultados encontrados, com relação à inserção de produtos no mercado com a demanda impulsionada pela rastreabilidade nos processos produtivos. Em função disso, várias empresas internacionais viram no mercado brasileiro, um grande consumidor de sistemas eletrônicos de identificação.

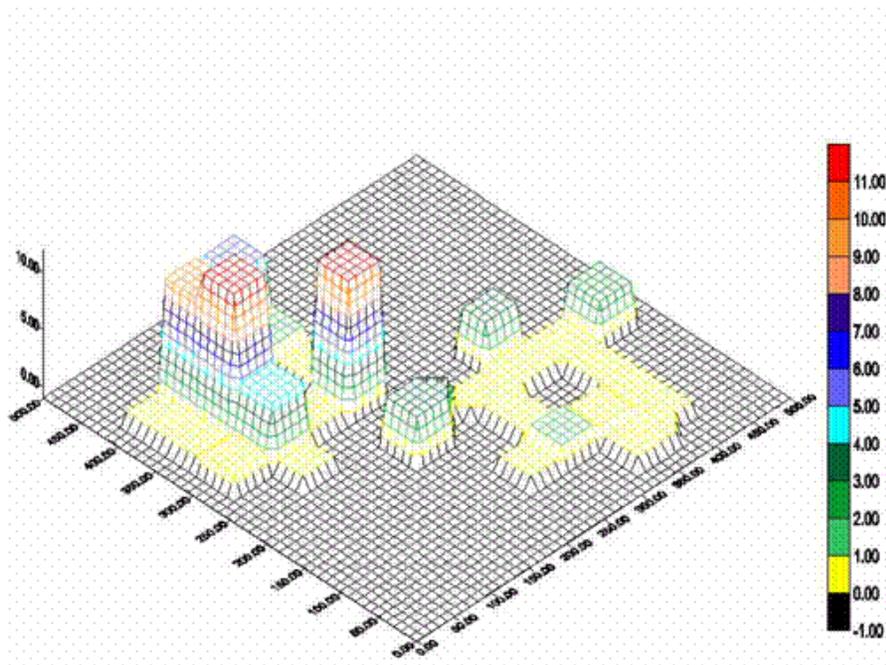


Figura 04: Detalhamento da área de captação média dos sinais dos *transponders* pela antena, CARO et al (2003).

Deve-se ressaltar que as preocupações com as tecnologias importadas se contrapunham as diferentes características de nossos ambientes de produção e do nível tecnológicos de nossos produtores.

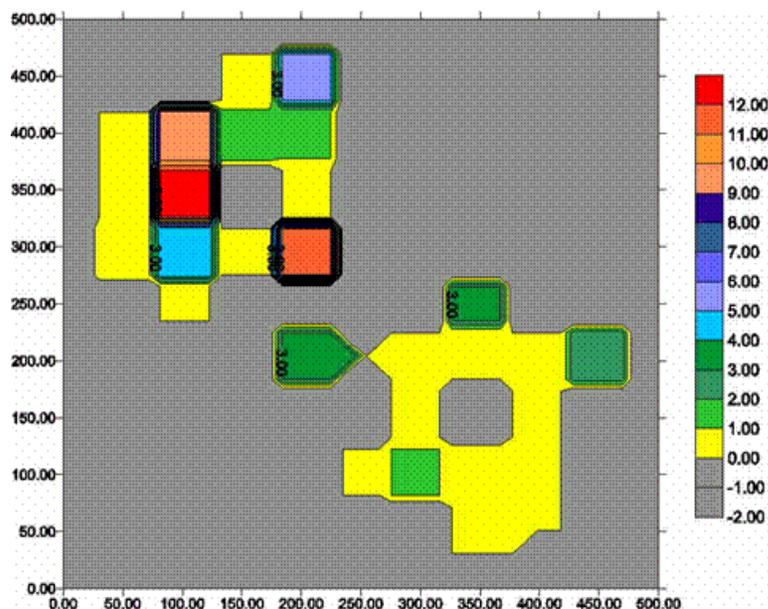


Figura 05: Ilustração 2D da antena 1 com a área onde não ocorreu e as áreas onde ocorreu a captação de sinais. CARO et al (2003).

Por meio de um projeto de pesquisa<sup>4</sup>, financiado pela FAPESP e envolvendo o uso de sistemas de identificação eletrônica por transponders, fizeram-se levantamentos de dados técnicos relacionados à própria eficiência dos materiais.

Nessa mesma linha de trabalho, vários questionamentos foram realizados em relação à aplicação dos *transponders* injetáveis nos animais, de forma a captarem os sinais-resposta e, ao mesmo tempo, não serem rejeitados pelo organismo animal, visto que até mesmo a fixação ou a migração no organismo animal era uma incógnita, mesmo considerando-se os materiais utilizados na confecção dos *transponders* considerados biocompatíveis.

O *transponder* injetável é uma peça de dimensões muito pequena (11,5 x 2,2 mm) especialmente desenhada para identificar animais, sendo encapsulado com vidro biocompatível, de maneira a não apresentar rejeição pelo organismo. Dessa forma um animal microchipado iria carregar sua identificação digital do nascimento até o abate, tornando possível o acompanhamento integral de seu crescimento e seu desenvolvimento, realizado por meio de leitores manuais ou de antenas estrategicamente colocadas na propriedade. Por outro lado, os *transponders* injetáveis

<sup>4</sup> O uso da identificação eletrônica na avaliação do comportamento de frangos de corte, submetidos ao estresse térmico em câmara climática. Projeto individual de pesquisa; FAPESP, Processo nº.: 2000/08500-2.

cumprem exigências importantes para seu uso na prática. Os principais aspectos são: a compatibilidade biológica, a viabilidade de injeção, o desempenho técnico e, finalmente, o procedimento de recuperação em abatedouros comerciais, para evitar qualquer risco à cadeia alimentícia humana (KLINDTWORTH et al., 1999). Para LAMBOOY (1990) a injeção subcutânea de um *transponder* ocasiona dano de pequenas partes da epiderme e da derme, ou reações no corpo do animal que poderiam ser resultado de movimentos migratórios do *microchip*. Embora a pele seja constituída por uma complexa estrutura composta por tecido conjuntivo, folículos de pêlo, glândulas e vasos sangüíneos, MALIBACH & ROVEE (1972) afirmam que a cura de feridas é caracterizada por uma quase perfeita regeneração da epiderme, em aproximadamente uma semana, e da derme, em aproximadamente 3 semanas. Com base nesta experiência espera-se que a cura da ferida, após a injeção de um *transponder*, seja bastante rápida (LAMBOOY, 1990).

KLINDTWORTH et al. (1999), concluíram que *microchips* aplicados de maneira correta e com total assepsia não produziram nenhuma infecção ou rejeição, pelo fato de os *transponders* injetáveis serem encapsulados num tubo de vidro biocompatível, que separa o implante e o tecido anfitrião, permanecendo ao redor do *transponder* durante todo o período de vida do animal sem sofrer nenhuma alteração.

Além dos aspectos relacionados à biocompatibilidade dos *transponders* e a sua rejeição, ou não, pelo organismo animal, trabalhou-se com o princípio de que, ao se movimentarem os animais poderiam promover a migração do *microchip*, o que provavelmente afetaria a recepção de sinais e, conseqüentemente, a leitura dos dados. Surgiram, então, os estudos nacionais com relação à migração dos *transponders*.

As migrações são aspectos críticos para o uso de *transponders*, podendo representar um risco para alguns órgãos essenciais à vida. Além disso, podem causar dificuldades na linha de abate, na recuperação dos *microchips*, quando estes não estão localizados no local esperado.

Para avaliar a migração do *transponder* em relação ao local de aplicação, são utilizadas várias metodologias como radiografias, dissecação do cadáver para posterior cálculo da distância de migração, usando pontos orgânicos de referência, sendo bastante difícil comparar os poucos resultados disponíveis, como os diferentes locais de

implante usados em diferentes espécies, LAMBOOY & MERKS (1989). Por exemplo, LAMBOOY & MERKS (1989) conduziram uma pesquisa em que se implantaram *transponders* ao lado da parte de trás da orelha em 11 leitões. Posteriormente, na linha de abate, eles só encontraram três dos *transponders* no local original de injeção, outros quatro foram localizados na mandíbula e alguns foram achados até mesmo próximos da coluna espinhal.

Pesquisas desenvolvidas por NÄÄS et al (2000); NÄÄS et al (2001), PEREIRA et al (2001) na Faculdade de Engenharia Agrícola (UNICAMP), Campinas, SP, analisando o melhor local para o implante do *microchip* em aves (matrizes pesadas), em relação à unidade de leitura (antena), localizada no piso, concluíram que a região do pescoço não apresentou um volume de dados satisfatório, além de ter ocorrido a migração do *transponder*; o melhor local para o implante está entre o pé e a coxa do animal.

Já SILVA et al. (2002)<sup>5</sup>, avaliando diferentes locais de implante do *microchip* no organismo de frangos de corte (figuras de 06 a 10), usando a metodologia de radiografia com avaliação de deslocamento bilateral, (figuras 11 e 12), verificaram que os melhores locais para a aplicação, ou seja, os locais de menor migração, foram a crista, o pescoço e a pata. Já os locais que apresentaram maior migração foram a coxa e o peito.



Figura 06: Implante do *transponder* na crista.



Figura 07: Implante do *transponder* na caixa torácica.

---

<sup>5</sup> SILVA, I. J. O., MOURA, D. J., SEVEGNANI, K. B., PANDORFI, H., ROMA JÚNIOR, L. C., CARO, I. W. Evaluation of the Migratory Distance of Passive Transponders Injected In Different Body Sites of Broilers Using Electronic Identification. In: **ASAE Annual International Meeting / CIGR XVth World Congress**, Chicago, 2002.



Figura 08: Implante do *transponder* no pé.



Figura 09: Implante do *transponder* no pescoço.



Figura 10: Implante do *transponder* na coxa.

De acordo com as pesquisas de SILVA et al (2002), houve diferença significativa na distância percorrida pelo *transponder* entre o peito e a coxa e entre esses e a pata, o pescoço e a crista. Já na observação dos raios-X, notou-se, pelas figuras 11 e 12, que o *transponder* se deslocou em direção ao pescoço, quando aplicado no peito, isso devido ao grande crescimento da ave no período analisado, quando passou de 1,8 Kg para 2,3 Kg, em média. Assim, pelo fato de a coxa e o peito apresentarem crescimento rápido, com ganho de musculatura, ocorreu a maior migração do *microchip*. Apesar de grande movimentação do *transponder* na coxa não ocorreu nenhuma reação no organismo da ave. A crista mostrou-se um local excelente para a implantação de *transponder*, porém não recomendável para aves muito pequenas, devido ao tamanho da área do implante ser muito reduzido. E não houve nenhum tipo de reação no tecido da crista em

decorrência da presença do *microchip*. A migração da pata foi maior em relação ao pescoço, devido ao fato de a ave “pisar” no *transponder*; e não se observaram problemas de locomoção da ave, mesmo por ter sido implantado na parte inferior da pata. No pescoço, observou-se que o único movimento do *transponder* foi lateral.



Figura 11: Implante na crista no dia do implante (a), no 3° (b) e no 7° (c), respectivamente, na região da crista da ave.

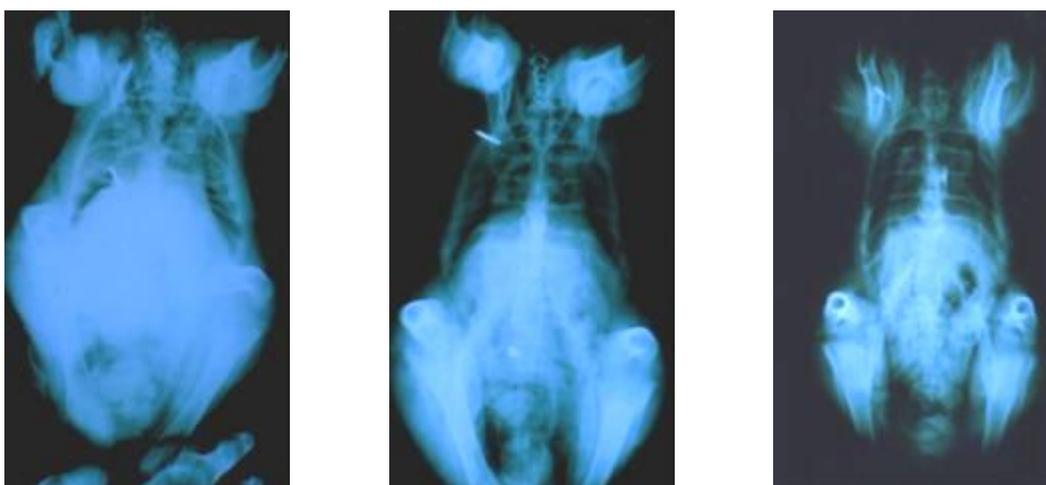


Figura 12: Seqüências de radiografias no dia do implante, no 3° dia e no 7° dia, respectivamente, no peito da ave.

Por meio da tabela 01, podem-se verificar as distâncias percorridas pelos transponders após 7° dias do implante.

Tabela 01: Médias da distância total percorrida pelos *microchips* no organismo da ave, ao final dos 7 dias do implante. (SILVA, et al. 2002).

Tratamento	Migração (mm)				Médias
	Ave 1	Ave 2	Ave 3	%	
1 – Peito	67,8	57,9	64,9	63.5 <sup>a</sup>	100
2 – Coxa	32,4	41,5	15,1	29.6 <sup>b</sup>	47
3 – Pata	10,8	12,7	10,1	11.2 <sup>c</sup>	18
4 – Pescoço	5,0	6,0	1,0	4.0 <sup>c</sup>	6
5 – Crista	2,0	0,0	6,4	2.8 <sup>c</sup>	4

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente no nível de 5% de significância, pelo Teste de Tukey.

Também com o objetivo de verificar os locais mais indicados para o implante dos *microchips* em leitões, PANDORFI et al (2002; 2005)<sup>6,7</sup> demonstraram que, na região da cartilagem da base da orelha, houve maior facilidade de aplicação, ótima aceitabilidade pelo animal, além de mostrar limites aceitáveis de movimentação no corpo do animal. A figura 13 mostra a evolução das distâncias percorridas dos *transponders* em diferentes locais de implantação.

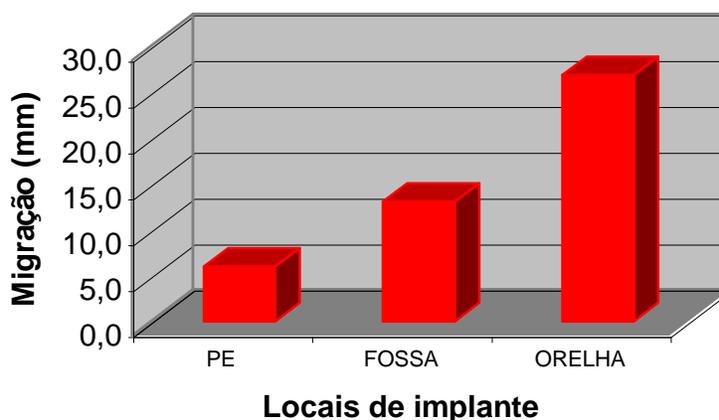


Figura 13. Análise de migração dos *microchips* (mm), em relação aos diferentes locais de aplicação entre o dia da aplicação e o 11<sup>o</sup> dia após o implante.

<sup>6</sup> PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; MOURA, D. Zootecnia de precisão: avaliação de diferentes locais de implante de microchip para identificação eletrônica de leitões. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XXXI, Anais. 2002, Salvador-BA. XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2002.

<sup>7</sup> PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; SEVEGNANI, K. B.; CARO, I. W.; Locais de implante de microchips de identificação eletrônica de leitões: seleção e validação por análise de imagem. In: Engenharia Agrícola, Jaboticabal, SP., v. 25, n. 1, p. 1-9, 2005.

Para os outros dois locais adotados, na fossa infraorbital e nos dígitos da pata, apesar de não observarem problemas de migração, foi constatado um efeito de rejeição ao implante. Nos dígitos da pata, houve dificuldade na aplicação, devido ao tipo de tecido encontrado no local, onde também se observou maior sensibilidade do animal, que apresentou posteriormente dificuldade ao caminhar. A análise dos dados mostrou que o tratamento que obteve maior migração foi o na cartilagem da base da orelha, correspondendo a uma distância de migração de 26,9 mm, seguido da fossa infraorbital, que, no último dia das séries de radiografias, obteve 13,1mm de migração. O local onde ocorreu a menor migração do *transponder* no corpo do animal foram nos dígitos da pata, da ordem de 6 mm.

SILVA et al. (2002), testando diferentes locais de implante de *microchip* em suínos, com antena painel, constataram que o melhor local foi a base da orelha, por apresentar fácil aplicação e menor contato, evitando perdas e desgastes ocasionados pelas atividades dos animais.

Fatores como idade dos animais e tamanho dos *transponders* mostraram influência significativa na migração. Para KERN (1999), com o avanço da idade dos animais e o tamanho dos implantes, houve uma diminuição dos movimentos observados, embora não se possa afirmar uma interação positiva entre ambos os fatores, o que também foi comentado por KLINDTWORTH et al. (1999). Apesar de esses fatores de influência terem sido mencionados, os autores afirmam que migrações, de no máximo 6 cm, podem ser assumidas como não críticas, pois ainda está na região próxima a inserção do microchip, esperando-se que seja localizado sob condições normais, na linha de abate.

Diante disso, os resultados encontrados por PANDORFI et al. (2002<sup>8</sup>; 2005<sup>9</sup>), SEVEGNANI, et al. (2002)<sup>10</sup>, SILVA et al. (2002)<sup>11</sup> estão dentro dos limites apontados, em 1997, por KERN.

---

<sup>8</sup> PANDORFI, H.; MOURA, D.J.; SILVA, I.J.O.; SEVEGNANI, K.B.; CARO, I.W. Evaluation of the migratory distance of passive transponders injected in piglets. IN: **The 17<sup>TH</sup> Congress of the International Pig Veterinary Society**, Ames-Iowa, 2002, v.1, p.309.

<sup>9</sup> PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; SEVEGNANI, K. B.; CARO, I. W.; Locais de implante de microchips de identificação eletrônica de leitões: seleção e validação por análise de imagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.1-9, 2005.

<sup>10</sup> SEVEGNANI, K.B.; MOURA, D.J.; SILVA, I.J.O.; CARO, I.W.; ROMA JUNIOR, L.C. MATARAZZO, S.V.; PERISSINOTTO, M. Avaliação de diferentes locais para implante de microchips injetáveis em frangos de corte. IN: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. Anais da 39ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Recife-PE: 2002.

A aplicabilidade da identificação eletrônica saiu do simples fato de ser uma ferramenta útil aos programas de rastreabilidade de animais e de processos, para ser utilizada como referencial de estudos quantitativos de movimentos dos animais em diferentes situações, bem como, de estudos do comportamento e do bem-estar animal. Essa nova aplicação tornou-a uma aliada de pesquisadores que queriam registrar, de forma eficiente, diferentes variáveis até então de difícil precisão.

Segundo PEREIRA (2002), a utilização de equipamentos eletrônicos, e de sistemas informatizados para registro, gravação e gerenciamento dos dados de produção, é ferramenta essencial na presente produção animal. Porém existe a necessidade de integrar esses equipamentos a sistemas de suporte à decisão (DSS). A tecnologia já existente de identificação eletrônica (RFID), associada aos sensores de respostas fisiológicas, que utilizam a telemetria como meio de transmissão, interligadas a sistemas inteligentes (redes neurais) de suporte à decisão, poderão constituir a base dos sistemas de produção animal do futuro breve. Paralelamente à identificação eletrônica, verifica-se a necessidade cada vez maior de as propriedades agrícolas possuírem um sistema informatizado, para utilizar sistemas de suporte à decisão (DSS), com o objetivo de auxiliar, administrativa ou gerencialmente, as decisões da empresa.

Essas mudanças começaram a impulsionar pesquisadores no sentido de interagir com os processos do ciclo de produção, ou seja, relacionar o uso de *microchips* ao acionamento de sistemas de climatização, por meio da automação, na tentativa de obter a resposta dos animais por modelos que possam representar os valores médios de cada plantel ou lote observado.

Na verdade, as várias tarefas que compõem as atividades agropecuárias, executadas num sistema de produção, necessitam de acompanhamento sistemático durante todos os processos. O registro diário de informações, juntamente com o acompanhamento sistemático de todas as etapas, produzem dados estatísticos importantíssimos para a avaliação, o controle e a possibilidade de melhorias, segundo KEBELER & SCHIEFER, citados por CURTO (2002).

---

<sup>11</sup> SILVA, I.J.O., MOURA, D.J., SEVEGNANI, K.B., PANDORFI, H., ROMA JÚNIOR, L.C., CARO, I.W. Evaluation of the migratory distance of passive transponders injected in different body sites of broilers using electronic identification. 2002. **ASAE Annual International Meeting/ CIGR World Congress**, Chicago. ASAE, St. Joseph, Michigan. 11 pg.

Iniciaram-se, então, os estudos interativos utilizando a tecnologia da identificação eletrônica, associada aos aspectos de ambiência e de comportamento animal. CURTO (2002), utilizou a tecnologia de identificação eletrônica em matrizes pesadas expostas às variações ambientais e verificou a eficiência em modelos de escala reduzida. O autor pesquisou o comportamento de reprodutoras e relacionou com a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa, investigando para isso, alguns modelos que melhor retratariam o comportamento das aves sob determinadas variáveis. Oito fêmeas reprodutoras receberam o “*transponder*” implantado de forma subcutânea; as temperaturas foram registradas por meio de um “*datalogger*”. Os dados permitiram uma avaliação do comportamento padrão reprodutivo das aves, de acordo com as características ambientais determinadas. O EID foi uma ferramenta útil para determinar o movimento das fêmeas reprodutivas, em função da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa. Foi possível registrar o trajeto feito pelas fêmeas devido ao uso da identificação eletrônica assim como predizer onde as aves têm maior tendência de se encontrar quando a temperatura de bulbo seco estiver alta. Esse foi um dos trabalhos pioneiros no país, promovendo a interação com outras variáveis respostas de interesse.

Nessa etapa, a identificação eletrônica já era uma realidade nas pesquisas nacionais e as dúvidas sobre sua utilização nas cadeias produtivas da avicultura e da suinocultura iam sendo esclarecidas gradativamente, com as diferentes aplicações nas pesquisas.

Atualmente, há várias expectativas em protótipos nacionais de sensores eletrônicos que se vêm desenvolvendo para as diferentes cadeias, ao mesmo tempo em que as tecnologias disponíveis se tornam mais acessíveis para o usuário final. De qualquer forma, a identificação eletrônica de “pequenos animais” no país é uma realidade para animais de companhia. Já em se tratando de animais de produção, o uso ainda se restringe à pesquisa científica em que a ferramenta é uma grande aliada dos projetos de bem-estar animal e do estudo do comportamento dos mesmos, com o objetivo geral de melhor entendê-los para melhor condicioná-los aos ambientes produtivos.

### **3.1.3. Contribuição científica da linha de pesquisa**

Sem dúvida nenhuma, os avanços alcançados pela linha de pesquisa refletem a carência de informações existentes antes do uso dos sistemas de identificação eletrônica.

Deve-se ressaltar que as contribuições, num primeiro momento, visaram a realçar a importância da ferramenta como elemento de pesquisa e, ao mesmo tempo a entender suas aplicações reais no ao organismo animal, no ambiente de registro de dados e até mesmo na captura e na interpretação dos dados registrados.

Na verdade, houve a necessidade de um melhor entendimento dos processos de transferência de informação por radiofrequência, os elementos que influenciam o uso da ferramenta para depois utilizá-la de maneira correta e eficaz.

Hoje a identificação eletrônica é uma ferramenta fundamental nos estudos de comportamento animal, de bem estar e de automação dos ambientes, quando se utilizam os animais como biosensores.

Além disso, deve-se considerar, também, que por meio dessa linha de pesquisa, desmistificaram-se algumas marcas existentes no mercado, em prol da eficiência de cada equipamento. E que, durante as pesquisas, várias empresas se esquivaram de participar como parceiras, justamente por problemas operacionais nos equipamento comercializados.

Nesse intervalo de tempo, as diferentes pesquisas, realizadas pelas equipes no país, auxiliaram a permanência de empresas com maior credibilidade no mercado e seu atendimento as cadeias produtivas.

### **3.1.4. Aplicabilidade ao produtor**

Sob o nosso ponto de vista, o produtor é o principal beneficiado com os resultados das pesquisas nessa linha, pois com os programas de rastreabilidade animal cada vez mais, acirrados, e exigidos pelo mercado e pelo governo, muitas vezes os produtores se viam perdidos, em relação ao processo de rastreabilidade que envolve a identificação, a certificação.

Nesse aspecto, houve uma invasão de sistemas eletrônicos para identificação animal, já que oferecidos no mercado sem respaldo algum, o que significou para muitos, um grande negócio, quando o nível de desinformação era grande.

Com o desenvolvimento das pesquisas, muitos direcionamentos foram realizados, tanto para uso, quanto para a aplicação mais apropriada a cada realidade.

Pode-se afirmar que, até os dias de hoje, muitos aspectos relacionados à identificação eletrônica de animais são adotados em função das pesquisas oriundas dessa área de trabalho.

## **3.2. VISÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE IMAGEM COMO FERRAMENTAS DA ZOOTECNIA DE PRECISÃO**

### **3.2.1. Introdução**

O estudo dos animais e de seus comportamentos, num determinado ambiente, são considerados, hoje em dia, de extrema importância para o setor da economia de exportação de produtos de origem animal. A qualidade de vida desses animais sob confinamento para grandes produções, depende dos cuidados a eles dispensados. O fato transformou-se em assunto de interesse da sociedade e é discutido em termos de bem-estar animal.

Em fevereiro de 2004, a Organização Mundial de Saúde Animal (OFFICE INTERNATIONAL DES EPIZOOTIES, OIE) salientou a importância de padrões de bem-estar animal serem adotados por todos os países exportadores de produtos de origem animal. Isso afetará os países que não obedecerem às reivindicações feitas. Em consequência disso, a demanda de conhecimentos a respeito do bem-estar animal aumentou, tanto em grandes setores de produção quanto no setor da pesquisa científica. O objetivo é conseguir informações em relação aos problemas que afetam os animais em termos de estresse, como medi-lo, como encontrar o adequado manejo e como executá-lo. (LUND, 2006).

Os estudos sobre bem-estar animal começaram a ganhar ênfase, não somente pelo estudo propriamente dito, mas também pelo interesse econômico e público sobre como os animais são criados. Público composto por consumidores, críticos sociais e produtores (FRASER, 1999).

O conhecimento prévio do comportamento animal é a forma de diagnosticar possíveis situações de desconforto, que possam prejudicar a produtividade e o bem-estar de animais confinados. As pesquisas na área geraram informações importantes quanto à adaptação a certos agentes estressores, tais como recursos de termorregulação e de controle de situações relacionadas ao ambiente em que vivem.

Apesar do avanço que a Zootecnia de Precisão apresentou nos últimos anos, existe ainda uma lacuna quanto à análise de comportamento, visto que a linguagem animal é comportamental, tornando-se importante, então, as observações dos animais. Isso pode ser verificado, não somente por observações e pelo uso de etogramas para a quantificação dos comportamentos, como também pela dinâmica dos animais, em termos de atividade motora, de períodos de inatividade, de frequência de uso, de presença e permanência em determinados locais especificamente, seja por costumes próprios, seja por questões relacionadas ao bem estar e ao conforto proporcionado nos diferentes ambientes e instalações.

A etologia apresenta inúmeros problemas quanto à aquisição e à análise de dados comportamentais, visto que a presença humana interfere na caracterização dos comportamentos, prejudicando, assim, o trabalho do pesquisador.

A técnica de observação e de análise do comportamento dos animais é um método não invasivo de monitoramento das condições dos mesmos, que permite estudar como os animais interagem com outros e com o ambiente de criação, provendo informações sobre as preferências sociais e ambientais dos mesmos. Trata-se de uma técnica simples e de fácil execução, que produz uma boa estimativa da proporção do tempo despendido pelas aves nas atividades mais comuns, o que pode ser reflexo da sua condição de conforto. Tais informações facilitam a realização de pesquisas, bem como o desenvolvimento de sistemas de prevenção para o bem-estar nas propriedades agropecuárias.

A análise de imagens de vídeo permite o monitoramento contínuo do comportamento dos animais, bem como a observação de um número maior do que seria possível por meio da observação direta, permitindo a verificação dos dados obtidos, sempre que necessário.

Dessa forma, a análise de imagens é utilizada para estudos do comportamento, sendo uma técnica bastante difundida, que consiste na aquisição de imagens via câmeras digitais inseridas no topo das instalações de confinamento dos animais, capturando-se e armazenando-se as imagens em computadores, para a posterior análise visual.

A vantagem é que, os peritos usam freqüentemente a informação visual dos animais para o diagnóstico, mesmo antes de toda a condição de alarme ser detectada por meio de sensores e instrumentos, que auxiliam na análise da resposta das variáveis, relacionando-as aos dados de produtividade para a detecção de problemas (XIN et al., 1998).

Os desafios das pesquisas de ponta em Zootecnia de Precisão ainda estão relacionados ao alto custo e ao emprego de mão de obra qualificada, mas existem setores produtivos que empregam as técnicas existentes e apresentam condições de competição com o mercado exterior, devido ao grande auxílio da tecnologia aos sistemas de otimização dos processos produtivos.

Segundo ABRAHAMSSON et al (1995), o comportamento animal, até há pouco tempo, era medido através da observação visual dos animais, o que consumia mais tempo, era subjetivo e muito susceptível ao erro humano. A automação deste processo, por meio de câmeras de vídeo e de programas de interpretação de imagens, tornou possível uma melhor interpretação dos comportamentos dos animais, sem a necessidade de estar perto deles ou de incomodá-los.

A análise de comportamento, por meio de imagens de vídeo, tornou-se grande aliada na avaliação do comportamento de animais, porque possibilitou a aquisição de dados simultâneos de diferentes grupos, para a posterior análise. Além disso, o emprego de câmeras de vídeo também se tornou importante, em função da própria característica dos animais, que é de constante atividade, facilitando a observação e a interpretação dos resultados.

Uma câmera acoplada a um computador é um sensor não invasivo de aquisição e de armazenamento de grande quantidade de imagens, sem qualquer influência no comportamento dos animais em observação.

Em 1988, DeSHAZER relatou que os benefícios de sistemas como estes para auxiliar os pesquisadores, começaram a ser discutidos há quase 40 anos, quando a informática era praticamente inexistente. O autor sugeriu muitas aplicações possíveis, incluindo o monitoramento contínuo de atividades no tempo. Reafirma-se então que a análise visual de imagens beneficia o pesquisador, quanto ao consumo de tempo, dedicado à observação, e à susceptibilidade ao erro, já que as imagens registradas

para a posterior análise são controladas conforme a necessidade; a contínua análise visual do comportamento do animal pode fatigar o experimentador, comprometendo as informações obtidas.

As discussões sobre a técnica de armazenamento e de análise visual de imagens apresentaram boa aceitação, devido ao controle adquirido em cada etapa de análise e aos possíveis acessos posteriores às imagens permitindo ao pesquisador reavaliar os dados, além de possuir um banco de imagens referentes ao experimento realizado.

Seguindo a tendência mundial de pesquisas em análise de imagem, para o melhor entendimento do comportamento de animais de produção e de seus reflexos no bem estar e no conforto dos mesmos, as pesquisas nacionais começaram os primeiros passos utilizando essas novas técnicas de observação. Vários pesquisadores utilizaram em suas dissertações e teses o sistema de aquisição de imagens para registrar o comportamento dos animais, tais como bovinos (MATARAZZO, 2004<sup>12</sup>; PERISSINOTO, 2004<sup>13</sup>), suínos (PANDORFI, 2002<sup>14</sup>; 2005<sup>15</sup>) e aves (SEVEGNANI, 2003<sup>16</sup>; BARBOSA FILHO, 2004<sup>17</sup>; ALVES, 2006;<sup>18</sup>) o fato vem contribuindo para um banco de imagens do Núcleo de Pesquisa em Ambiência (NUPEA – ESALQ, USP), que contém informações de comportamentos e variáveis fisiológicas desses animais de produção.

### 3.2.2. Análise de imagem e visão computacional

Conforto e bem-estar animal constituem um dos assuntos mais discutidos atualmente na ciência animal, mas a complexidade e a diversidade de variáveis exigem

---

<sup>12</sup> MATARAZZO, S.V. Avaliação da intermitência de sistemas de ventilação e nebulização e as respostas fisiológicas e comportamentais de vacas leiteiras. 2004. 230 p. **Tese** (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – ESALQ/USP.

<sup>13</sup> PERISSINOTTO, M.; Avaliação da Eficiência Produtiva e Energética de Sistemas de Climatização em Galpões tipo Freestall para Confinamento de Gado Leiteiro. 2004. 122 f. **Dissertação** (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – ESALQ/USP.

<sup>14</sup> PANDORFI, H.; Avaliação do comportamento de leitões em diferentes sistemas de aquecimento por meio da análise de imagem e identificação eletrônica. 2002. 89p. **Dissertação** (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – ESALQ/USP.

<sup>15</sup> PANDORFI, H.; Comportamento bioclimático de matrizes suínas em gestação e o uso de sistemas de inteligência artificial na caracterização do ambiente produtivo: suinocultura de precisão. 2005. 120 p. **Tese** (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – ESALQ/USP;

<sup>16</sup> SEVEGNANI, K. B.; Ambiência animal e zootecnia de precisão: O uso da identificação eletrônica na avaliação do comportamento de frangos de corte, submetidos ao estresse térmico em câmara climática. **Relatório de pós doutorado** entregue a USP. 2003. 78p.

<sup>17</sup> BARBOSA FILHO, J.A.D.; Avaliação de aves poedeiras criadas sob cama e em gaiolas submetidas a diferentes condições de ambiente em câmara climática. 2004. 125 p. **Dissertação** (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – ESALQ/USP.

<sup>18</sup> ALVES, S.P.; Aplicação de inteligência artificial no estudo do comportamento de diferentes linhagens de aves poedeiras submetidas a criação em cama e gaiola. 2006. 140 p. **Tese** (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – ESALQ/USP.

medidas objetivas, envolvendo tecnologias que possam contribuir para a análise científica (MARIA, 2004).

Os equipamentos de medida de variáveis fisiológicas, são objetos de extração de dados de forma invasiva e, portanto, um fator estressor a mais para os animais a avaliar. A análise de mudanças de comportamento pode ser usada para medir conforto, o qual poderá ser modificado pelos fatores ambientais e sociais (SCOTT, 1993).

Os animais exibem o nível de conforto térmico, apresentando comportamentos distintos, ora amontoados, ora agrupados lado a lado ou esparsos. Esses, por exemplo, são os padrões de postura dos leitões que se submetem ao frio, ao conforto e à sensação de calor, respectivamente conforme relatado por MOUNT, (1968), numa das primeiras pesquisas a utilizar a análise de imagem.

SHAO et al. (1997) e SHAO et al. (1998) consideraram os parâmetros comportamentais por imagens como variáveis de entrada a uma rede neural artificial para classificar o conforto térmico dos suínos, em situação de frio, de calor e de conforto, baseando-se na pesquisa de MOUNT, (1968).

Em 1985, DUSENBERY demonstrou a viabilidade de se observarem, simultaneamente, 25 aves, por meio do uso de microcomputador e de uma câmera de vídeo. Nesse trabalho, o autor descreveu a possibilidade de registro individual e simultâneo dos movimentos efetuados pelos animais, sendo possível obter dados do comportamento, por meio de um equipamento relativamente barato, que proporcionou a coleta de imagens em tempo real, através do processamento de imagens. Relatou ainda, qual o número considerável de aproximações para encontrar animais em uma imagem e para caracterizar sua dinâmica, salientando que o desenvolvimento da eletrônica possibilitou novas estratégias para a análise de comportamento animal, sendo possível analisar a trajetória de 25 animais em uma mesma seqüência de imagens, utilizando, para isso o contraste de cores entre os animais e o plano de fundo.

Deve-se salientar que a análise de imagem passou a ser mais que a simples observação da captura da própria imagem e sim um tratamento das mesmas em busca de padrões.

O grande desenvolvimento de computadores e de linguagens de programação fez com que a necessidade de automatizar tais sistemas fosse alvo de estudos em diversas áreas (ROSENFELD, 1991).

Em 1991, TILLET utilizou a variação da forma da superfície de suínos para detectar sua posição e sua orientação, localizando o animal em cada uma das imagens, como mostra a figura 14. Trata-se de seqüência de imagens de um suíno confinado em ambiente, com uma microcâmera instalada no teto do sistema de criação.

Na seqüência, em 1993, MARCHANT & SCHOFIELD usaram técnicas de detecção de bordas da superfície dos corpos de suínos, em regiões de interesse, como o bebedouro, na figura 15, para possibilitar a análise da freqüência de uso deste, em determinada situação ambiental.

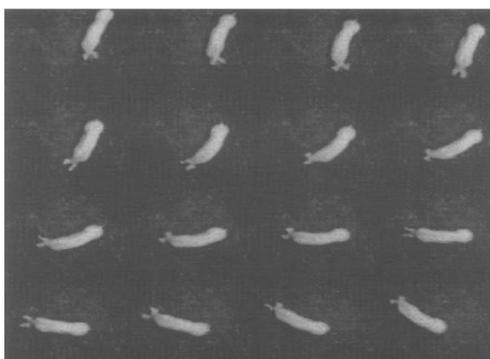


Figura 14 – Seqüência de imagens de um suíno confinado e suas variações de forma ao longo do tempo (TILLET, 1991)



Figura 15 – Imagem em tons de cinza para o reconhecimento de bordas da superfície de suínos, na região do bebedouro (MARCHANT, & SCHOFIELD, 1993)

McFARLANE et al (1995) desenvolveram um modelo simples, seguindo leitões em uma seqüência de imagens via processamento de “pixels”. O autor usou técnicas de realce de imagens, com base nos níveis de cinza que cada cor assume e, assim, os animais puderam ser diferenciados na seqüência analisada.

Em 1997, continuando trabalhos anteriores, TILLET et al. prosseguiram com os estudos e desenvolveram um modelo para analisar a trajetória de suínos, a partir do contraste entre a cor do animal e o plano de fundo.

YO et al. (1997) utilizaram a análise de imagens de vídeo para a avaliar o comportamento digestivo de frangos de corte, confirmando a eficiência do uso de câmeras de vídeo na observação do comportamento de aves.

Um ano depois, SERGEANT et al. (1998) desenvolveram uma técnica para solucionar alguns problemas no aspecto da visão computacional. Uma seqüência de imagens de frangos em um grande aviário foi processada, de forma a analisar a possibilidade de separar as aves do plano de fundo e de obter um método para analisar a concentração de aves em algumas regiões, durante o tempo. A figura 16 mostra a técnica de segmentação de uma imagem, que consiste em separar, do plano de fundo, os objetos relevantes para a análise, no caso, as aves.



(a) imagem original



(b) imagem binária

Figura 16 – Separação das aves do plano de fundo, para a análise de concentração na região do bebedouro (SERGEANT, 1998), (a) imagem original, (b) imagem binária.

O sistema descrito por XIN (1998) tal como uma microcâmera acoplada a um computador equipado com uma placa de aquisição de imagens apenas fornece um método de armazenamento de imagens para a posterior análise visual.

Porém, devido ao maior número de pesquisas na área do comportamento animal, a quantidade de informação e o tempo de análise aumentaram substancialmente, fazendo com que os pesquisadores busquem técnicas de processamento de imagens, que possam gerar informações de modo automático, sem a interferência do pesquisador, contribuindo para a efetiva análise de seqüências de imagens.

Nesse período iniciaram-se, no Brasil as pesquisas com a análise de imagens com animais de produção. Os primeiros trabalhos na área da avicultura utilizando os recursos da zootecnia de precisão (identificação eletrônica e análises de imagem) foram realizados no projeto de pesquisa financiado pela FAPESP (2000)<sup>19</sup>, o qual envolveu um trabalho de pós-doutoramento da Dra. Kelly Botigeli Sevegnani, cujos objetivos foram avaliar o comportamento de frangos de corte, submetidos a diferentes temperaturas em câmara climática, por meio do uso da identificação eletrônica, e validar o sistema de monitoramento por identificação eletrônica via *microchips* injetáveis com o sistema de monitoramento por câmeras de vídeo. Nessa pesquisa as aves foram submetidas a diferentes níveis de estresse térmico e realizaram-se avaliações bioclimáticas, fisiológicas e comportamentais, usando as novas tecnologias disponíveis. Nas figuras 17 e 18, pode ser observada uma imagem do box onde os animais ficavam confinados e a tela do software utilizado na captura das imagens captadas do teto da câmara climática.

Foi avaliado o comportamento ingestivo das aves, quando se constatou que as aves, de maneira geral, diminuiram o tempo passado ao comedouro, conforme a idade e a condição de estresse. Quanto mais velhas e quanto mais quente e úmido, menos tempo foi gasto junto ao comedouro na ingestão de ração.

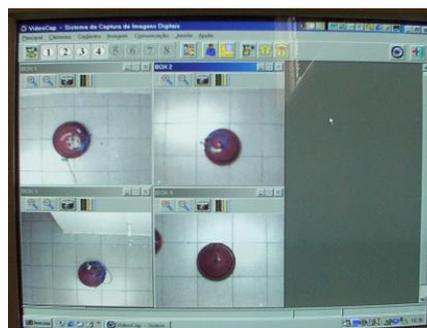


Figura 17: Boxes vistos de cima através das imagens das câmeras de vídeo

Figura 18: Tela do software Video Cap®

<sup>19</sup> SILVA, I.J.O.; O uso da identificação eletrônica na avaliação do comportamento de frangos de corte, submetidos ao estresse térmico em câmara climática; Processo FAPESP n.00/08500-2.

Nas tabelas 2 e 3, a seguir, exibem-se as médias dos fatores estudados para cada condição de estresse e de idade, para os fatores tempo despendido no comedouro e no bebedouro.

Tabela 2: Médias do tempo despendido, em minutos, no comedouro.

Condições de Estresse	Idades				
	21	28	49	35	42
cond 1	36,33 <sup>Aa</sup>	48,035 <sup>Ba</sup>	40,3 <sup>Ca</sup>	36,365 <sup>Aa</sup>	26,6 <sup>Da</sup>
cond 2	37,35 <sup>Aac</sup>	40,855 <sup>Bb</sup>	35,59 <sup>Cb</sup>	34,2 <sup>Cb</sup>	30,375 <sup>Db</sup>
cond 3	40,475 <sup>Ab</sup>	38,656 <sup>Bb</sup>	35,22 <sup>Cb</sup>	34,645 <sup>Cb</sup>	25,7 <sup>Da</sup>
cond 4	38,63 <sup>Ac</sup>	34,01 <sup>Bc</sup>	34,67 <sup>Bb</sup>	35,295 <sup>Bab</sup>	20,3 <sup>Cc</sup>

Médias seguidas de letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 3: Médias do tempo despendido, em minutos, no bebedouro.

Condições de Estresse	Idades				
	21	28	49	35	42
cond 1	1,135 <sup>Aa</sup>	5,145 <sup>Bab</sup>	2,985 <sup>Ca</sup>	3,28 <sup>Ca</sup>	3,885 <sup>Ca</sup>
cond 2	2,945 <sup>Ab</sup>	5,38 <sup>Bb</sup>	4,305 <sup>Cb</sup>	6,62 <sup>Db</sup>	6,305 <sup>Db</sup>
cond 3	4,495 <sup>Ac</sup>	4,77 <sup>Aac</sup>	6,625 <sup>Bc</sup>	7,109 <sup>Bc</sup>	3,275 <sup>Cc</sup>
cond 4	5,11 <sup>Ac</sup>	4,57 <sup>Bc</sup>	6,29 <sup>Cc</sup>	5,695 <sup>Dd</sup>	6,02 <sup>CD</sup>

Médias seguidas de letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tal comportamento é explicado pela clássica condição do estresse térmico, so o qual o frango diminui a ingestão calórica para evitar mais aporte de energia ao seu organismo. Quando exposto a uma situação de alta temperatura e de alta umidade, quando os mecanismos fisiológicos estão todos voltados à refrigeração do organismo, os animais e aves diminuem a ingestão de alimento. No trabalho apresentado por ROSA et al (2002) também foi constatado que, para aves mais velhas, o ganho de peso foi menor, em decorrência da menor ingestão de ração.

Quanto ao comportamento junto ao bebedouro, observado na tabela 3, pôde-se observar o oposto do ocorrido ao comedouro. Pela necessidade de refrigerar o organismo, quanto mais quente e úmido, e quanto mais velha a ave, maior foi o tempo gasto na ingestão de água. Esses resultados são condizentes com os encontrados por PEREIRA et al (2002).

Pode-se observar, na figura 19, que, conforme as aves foram ficando mais velhas, o tempo em ócio foi aumentado, até ultrapassar o tempo gasto para alimentar-se. Percebeu-se, claramente que a inversão do tempo em ócio em relação ao tempo alimentando-se ocorreu somente aos 49 dias, o que também indicou que se devem abater as aves antes desse período, principalmente em épocas quentes. No caso das aves de 49 dias, o tempo em ócio (sentada) foi muito maior em comparação com as outras idades. Isso se deveu às altas temperaturas do experimento e à idade das aves. Muitas não se levantaram para ingerir água. Também nessa idade, já começaram a surgir muitos problemas de pata. Para todas as idades, porém, verificou-se, pela figura que o tempo que a ave passou alimentando-se foi muito maior do que o tempo despendido na ingestão de água.

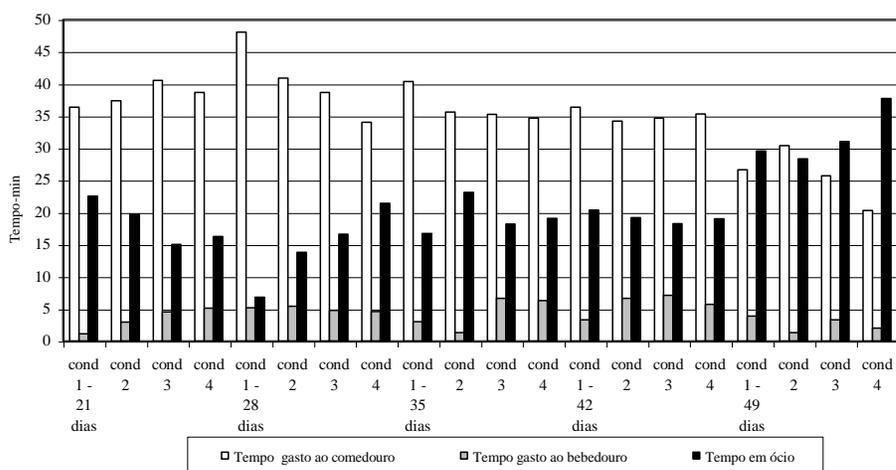


Figura 19: Tempo despendido no comedouro, durante 1 hora de observação, para as 4 condições de estresse.

Os resultados desse projeto foram divulgados na comunidade científica por SEVEGNANI et al (2003)<sup>20</sup> e publicados no Brasil por SEVEGNANI, et al (2005)<sup>21</sup> e os resultados permitiram concluir que: o tempo despendido junto ao comedouro foi decrescente na seqüência 21, 28, 35, 42 e 49 dias; o tempo despendido junto ao

<sup>20</sup> SEVEGNANI, K.B.; SILVA.I.J.O.; MOURA,D.J.; CARO,I.W.; The use of image analysis to evaluate poultry feeding and drinking behavior under different environmental conditions. In: **ASABE Annual International Meeting**, CD-room, Las Vegg, NV. 2003. Paper:

<sup>21</sup> SEVEGNANI, K.B.; CARO,I.W.; PANDORFI,H.; SILVA.I.J.O.; MOURA,D.J. Zootecnia de Precisão: análise de imagens no estudo do comportamento de frangos de corte em estresse térmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9.n.1.p.115-119, Campina Grande, 2005.

bebedouro foi crescente na seqüência 21, 28, 35, 42 e 49 dias e também que as ferramentas adotadas foram eficientes na avaliação.

Em 2002, XIN & SHAO afirmaram que a avaliação e os controles interativos do conforto térmico dos suínos, pela análise de imagem, superam os problemas inerentes ao método convencional, pois utilizam-se os próprios animais como biosensores em resposta aos reflexos do ambiente, através da análise comportamental. O sistema consiste em uma microcâmera, uma placa de captura de imagem, instalada em um PC e um programa visual que executa a aquisição, o processamento e a classificação das imagens dos animais (XIN et al., 2002).

Nessa época, concretizou uma nova concepção e iniciou por iniciativa dos pesquisadores, a utilização dos animais como biosensores, responsáveis pelas respostas relacionadas a interação: o animal, o homem e o ambiente.

Começaram, então, na suinocultura, os primeiros trabalhos nacionais com a análise de imagem como ferramenta da zootecnia de precisão, associando a técnica de identificação de imagens. Esses trabalhos foram divulgados por PANDORFI, et al (2003)<sup>22</sup> e posteriormente publicados por PANDORFI et al (2004)<sup>23</sup> no Brasil e PANDORFI et al (2005)<sup>24</sup> no exterior. Além do sistema de monitoramento pelas microcâmeras, utilizou-se a identificação eletrônica dos animais, por meio de *transponders* e de antenas, possibilitando o registro comportamental dos leitões e realizando, também, a avaliação da eficiência das ferramentas aplicadas na pesquisa. Na pesquisa, foram utilizados *transponders* passivos da marca Trovan, com as dimensões de 11,5 x 2,12 mm. Eles foram aplicados, por meio de uma agulha oca, subcutaneamente, na região da inserção inferior da base da orelha, de acordo com os resultados encontrados anteriormente por PANDORFI et al. (2002)<sup>25</sup>, conforme se observa na figura 20.

---

<sup>22</sup> PANDORFI,H.;SILVA,I.J.O.; MOURA,D.J.;SEVEGNANI,K.B.; CARO, I.W.; Piglets behavior evaluation in different heating systems using image analysis and electronic identification devices. **ASABE Annual International Meeting**, CD-rom, Las Vegas., NV.2003. Paper:

<sup>23</sup> PANDORFI,H.;SILVA,I.J.O.; MOURA,D.J.;SEVEGNANI,K.B.; Análise de imagem aplicada ao estudo do comportamento de leitões em abrigo escamoteador. **Engenharia Agrícola**, v.24.n.2.p.274-284, Jaboticabal 2004.

<sup>24</sup> PANDORFI,H.;SILVA,I.J.O.; Evaluation of the behavior of piglets in different heating systems using analysis of image and electronic identification. **Agricultural Engineering International the CIGR E-journal**, v.II, n.3.p.1-24,2005.

<sup>25</sup> PANDORFI,H.;SILVA,I.J.O.; MOURA,D.J.; Avaliação de diferentes locais de implante de microchips em leitões visando estudos bioclimáticos. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. **Anais da 39 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, CD-rom, Recife, 2002.

A identificação eletrônica permitiu o registro do tempo de permanência dos animais dentro do escamoteador, favorecendo a validação do sistema de identificação eletrônica por meio das análises de imagem.



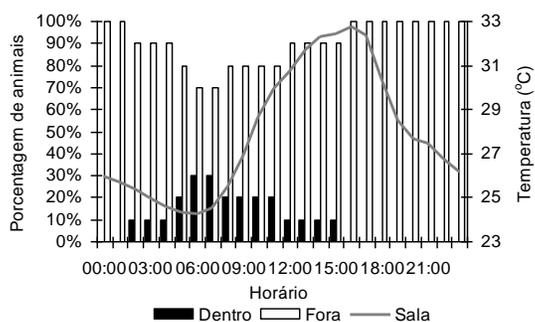
Figura 20: Aplicação do transponder na região da inserção da base da orelha



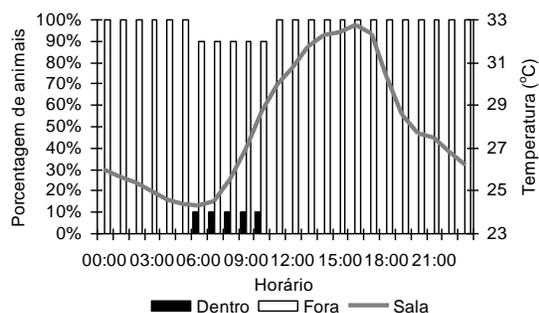
Figura 21: Microcâmera, leds de infravermelho e antena de captação do sinal dos microchips, instalados no interior do abrigo escamoteador.

Utilizando essas tecnologias de avaliação pôde-se verificar a frequência de uso do escamoteador, equipado com diferentes tipos de aquecimento e, ao mesmo tempo associar a resposta animal, nesse processo de escolha, ao melhor sistema adotado. De acordo com os resultados relacionados à frequência de uso apresentados nas figuras 22 (a), (b), (c) e (d), os autores concluíram que são coerentes com as variações da temperatura e da entalpia encontrados na avaliação térmica dos ambientes. Resultado similar a esse foi encontrado por McDONALD et al. (2000), que avaliando a eficiência de manta térmica e de sistemas convencionais de aquecimento, atestaram o melhor desempenho do aquecimento proveniente do piso (manta térmica).

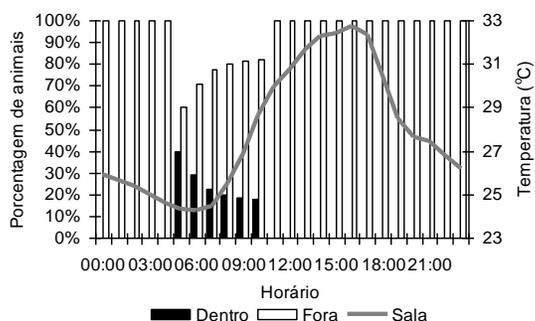
Também nesse trabalho, foi possível avaliar o tempo de permanência dos leitões no interior dos abrigos escamoteadores e verificar que o acesso dos animais, e o tempo de permanência nos abrigos, equipados com os diferentes sistemas de aquecimento, foram influenciados pelas condições ambientais na sala da maternidade e no interior dos abrigos, que na maioria dos casos, estava acima da necessidade dos animais.



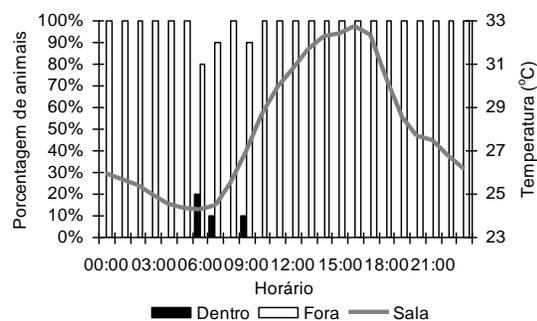
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 22: Avaliação da frequência de uso do abrigo escamoteador equipado com piso térmico (a); lâmpada incandescente (b); resistência elétrica (c); lâmpada de infravermelho (d) e variação da temperatura no interior da sala da maternidade para o dia avaliado (29/03/02).

O escamoteador equipado com piso térmico foi o mais visitado e aquele onde os leitões permaneceram por mais tempo, visto que o sistema promovia temperaturas adequadas aos animais, entre 30 e 32°C. Durante esse período, quando se analisa o piso térmico, verificou-se que há uma maior procura dos leitões, pois, em 54% das 11 horas (das 20 às 7 horas), em que o piso ficou aquecendo, constatou-se a presença de pelo, menos 1 leitão no interior do abrigo (figura 23). Esses tipos de conclusões reafirmam, cada vez mais, a necessidade de maior precisão em relação às variáveis respostas analisadas.

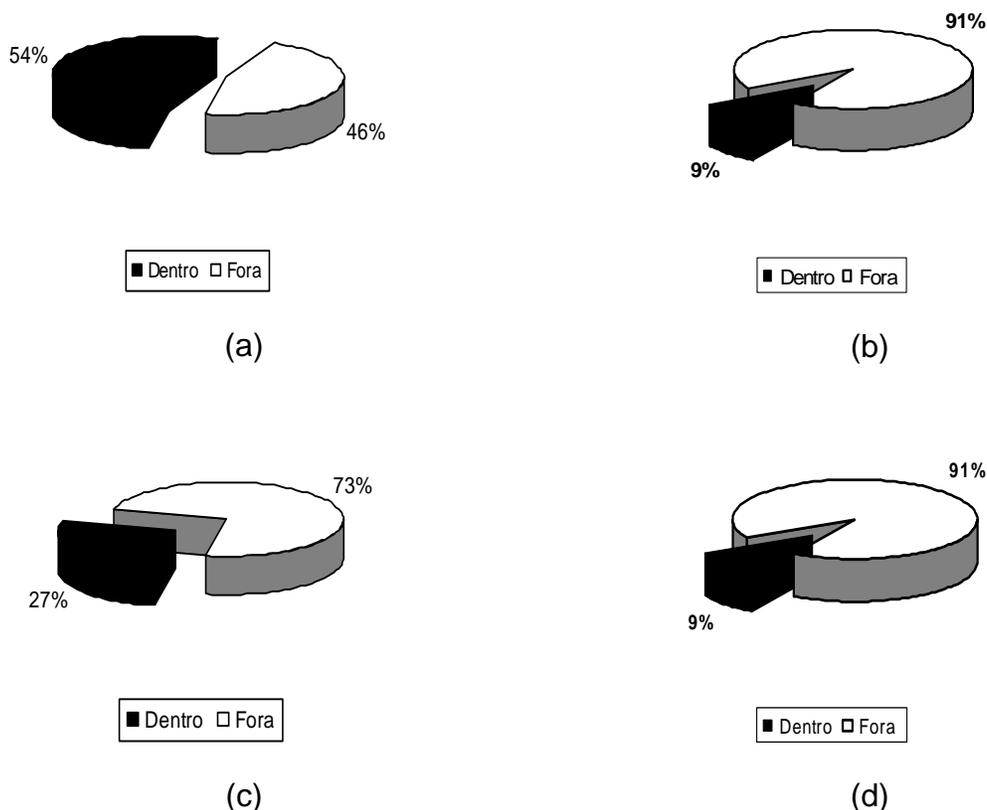


Figura 23: Porcentagem do tempo de permanência dos leitões no abrigo escamoteador equipado com piso térmico (a), lâmpada incandescente (b), resistência elétrica (c) e lâmpada de infravermelho (d), com o sistema de aquecimento acionado, durante 11 horas, para os dias críticos na etapa de verão.

A ferramenta de análise visual de imagens permitiu, juntamente com o uso da geoestatística, realizar a avaliação das isotermas do piso, nos diferentes sistemas de aquecimento, PANDORFI et al (2005)<sup>26</sup>.

Nas figuras 24 (a) e 25 (a), são apresentadas as imagens capturadas pela microcâmera, no abrigo equipado com piso térmico, nos horários das 8 e das 16 horas, em que se observa a distribuição dos animais no abrigo. Nas figuras 24 (b) e 25 (b), mostra-se o resultado do comportamento dos animais, em função da temperatura do piso, podendo observar-se as isotermas no abrigo.

<sup>26</sup> PANDORFI, H.; SILVA, I.J.O.; MOURA, D.J.; SEVEGNANI, K.B.; Microclima de abrigos escamoteadores para leitões submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9.n.1.p.99-106, Campina Grande, 2005.

De acordo com a figura 24 (b), observa-se que, no horário mais frio do dia (8 horas), a disposição dos animais está concentrada na região onde a faixa da temperatura do piso é maior, nesse caso, entre 29,7 e 30,7°C. Da mesma forma, observa-se que, no horário em que a temperatura é maior (16 horas), a distribuição dos leitões é diferenciada ao longo dos perfis das isoterms no piso, ou seja, 71% dos animais presentes no abrigo permaneceram na faixa de temperatura entre 29,6 e 30,6°C, e 29% em regiões onde a temperatura do piso estava em torno de 28°C (figura 25 b).

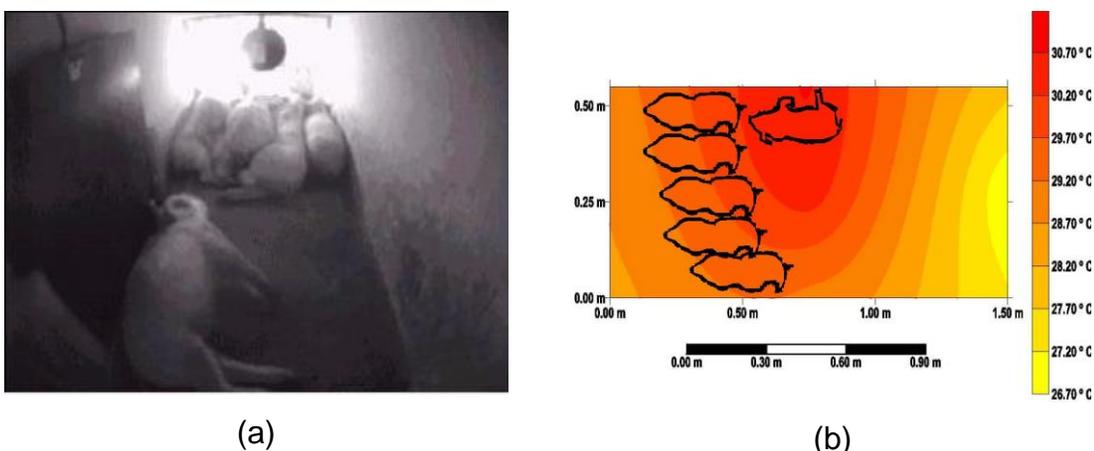


Figura 24: Imagem capturada (a) e representação das isoterms (b), definindo o perfil de distribuição dos animais, para o abrigo equipado com piso térmico, para as 8:00 na etapa de inverno.

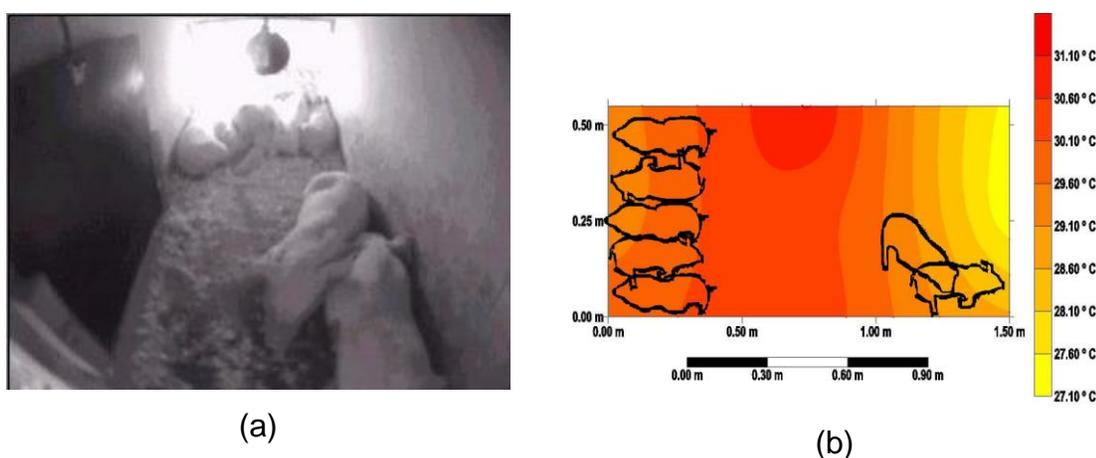


Figura 25 - Imagem capturada (a) e representação das isoterms (b), definindo o perfil de distribuição dos animais, para o abrigo equipado com piso térmico, para as 16:00 na etapa de inverno.

As pesquisas continuavam nas diferentes áreas; BENSON (2004) também estudou a possibilidade do uso de visão computacional em grandes aviários. O algoritmo desenvolvido contava o número de aves nas regiões do bebedouro e do comedouro (figura 26) ao longo do tempo avaliado.

LEROY et al. (2005) pesquisaram as formas geométricas adquiridas pelo corpo das aves poedeiras durante determinados comportamentos, tais como comer, beber, caminhar, ciscar entre outros, e finalizaram um sistema de programação avançada, capaz de detectar o comportamento de uma ave. Uma elipse foi utilizada de forma a modelar as modificações sofridas pelo corpo da ave, ao efetuar determinado comportamento (figura 27).

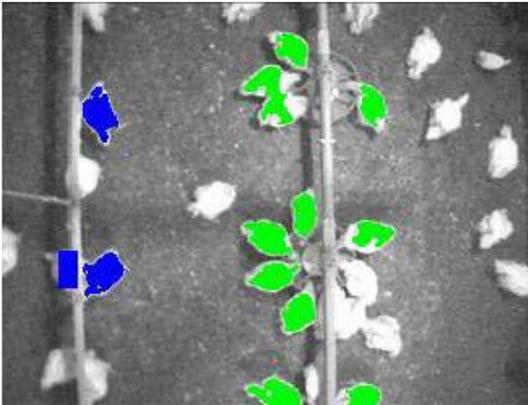


Figura 26: Análise de distribuição de aves em comedouro e bebedouro através de diferentes cores (BENSON, 2004)

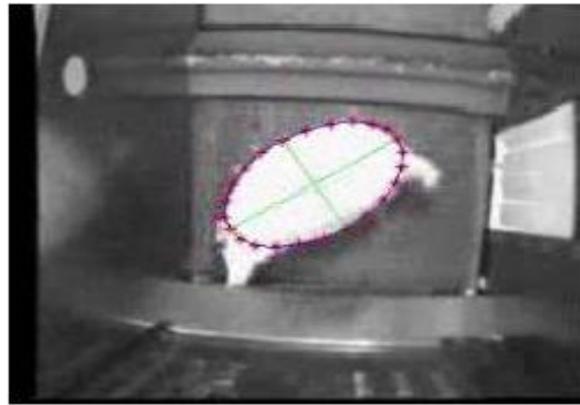


Figura 27: Análise de deformações da superfície do corpo de uma ave através de modelagem geométrica, para reconhecer comportamentos (LEROY, 2005).

Os “softwares” comerciais apresentam ferramentas de rastreabilidade espacial dos animais na qual o tempo e a rota seguida são de interesse (LIND, 2005). A detecção de cada animal, num grupo, é feita por meio de cores diferentes, atribuídas ao dorso do animal (NILSSON, 2005). Dessa forma, os animais devem ser marcados por cores em sua superfície para que se tornem visíveis ao sistema de programação avançada. Mas trata-se de um programa que envolve equipamentos específicos, portanto são “softwares” e “hardwares” que exigem determinadas características para processar as imagens de alta resolução. Tudo isso inflaciona o investimento para

adquirir tais programas, o que é um problema para as instituições de pesquisas no país, e inviabiliza uma aplicação futura não onerosa aos produtores interessados em sistemas de análise de imagens e de tomadas de decisão em tempo real.

O rastreamento por vídeo ou por seqüência de imagens é adequado para medir o comportamento, uma medida espacial, procurando detectar qual a freqüência do animal em determinada região, ou mesmo a distância percorrida, os períodos de inatividade até comportamentos que ocorrem durante horas, ou dias, fato que compromete a eficiência do observador humano, já descritos por SPINK, (2001).

Todas as técnicas de processamento e de análise de imagens aqui citadas, com exceção de técnicas que utilizam programação avançada, como o trabalho de LEROY et al. (2005), passam por contínua pesquisa de métodos, que apresentem soluções possíveis de efetuar em ambientes simples de programação, a partir do emprego de técnicas de processamento de imagens digitais e do uso de contrastes, tais como imagens binárias, algoritmos de segmentação e melhoramento de imagens (GONZALEZ, 2001) de fáceis compreensão e acesso aos pesquisadores.

Dessa forma, o esforço da pesquisa é o de desenvolver um sistema automatizado, em tempo real, pela análise de imagens, que execute a avaliação e o controle contínuo do conforto térmico dos animais confinados, baseando-se em seus testes padrão de comportamento.

Dando continuidade às seqüências de estudo nessa área, a dissertação de mestrado de BARBOSA FILHO (2004)<sup>27</sup> utilizou a análise de imagem, para avaliar diferentes níveis de estresse em aves poedeiras, submetidas a dois sistemas de criação, em gaiolas e em cama sobre piso, visto que as mudanças nos sistemas de criação já estão sendo preconizadas pela União Européia, em função das leis de bem-estar animal aprovadas. Nessa pesquisa, o autor adotou um sistema de marcação individual das aves, diferentemente do que foi adotado por SEVEGNANI, et al (2003). Para a análise do comportamento, todas as aves foram identificadas através de um sistema de marcação individual (pintura do dorso com tinta não tóxica), RUDKIN & STEWART (2003), o que possibilitou o acompanhamento e a análise dos

---

<sup>27</sup> BARBOSA FILHO, J.A.D.; Avaliação de aves poedeiras criadas sob cama e em gaiolas submetidas a diferentes condições de ambiente em câmara climática. 2004. 125 f. **Dissertação** (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – ESALQ/USP.

comportamentos de cada ave. Os resultados desse trabalho inicial com aves poedeiras geraram o artigo publicado por BARBOSA FILHO et al (2005)<sup>28</sup>. Nas figuras 28 e 29 , podem ser observados o sistema de marcação individual utilizado e a visão das câmeras de captura de imagem dentro da câmara climática utilizada nessa pesquisa.



Figura 28: Sistema de marcação individual para a análise de imagens por meio da pintura do dorso das aves



Figura 29: Visão da tela do computador equipado com placa de captura e software para imagens

De acordo com a avaliação das imagens capturadas pelo sistema, puderam-se avaliar os comportamentos das diferentes linhagens, nas diferentes condições ambientais, bem como descrever os comportamentos realizados,

Os padrões comportamentais foram avaliados de acordo com RUDKIN & STEWART (2003), levando-se em consideração as atividades desenvolvidas pelas aves individualmente, garantido a exatidão das medidas observadas. Com esse tipo de avaliação, foi possível, no caso dessa pesquisa, estabelecer a porcentagem do tempo médio de expressão de um determinado comportamento, em função de uma condição de estresse ou de conforto, e também o tempo médio (min) de expressão de diferentes linhagens em condições diferenciadas, conforme as figuras 30 a 33.

<sup>28</sup> BARBOSA FILHO, J.A.D.; SILVA, M.A.N.; SILVA, I.J.O.; COELHO, A.G.; Egg quality in layer housed in different production system and submitted to two environmental conditions. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, v.8.n.2., p.23-28. FACTA, 2005.

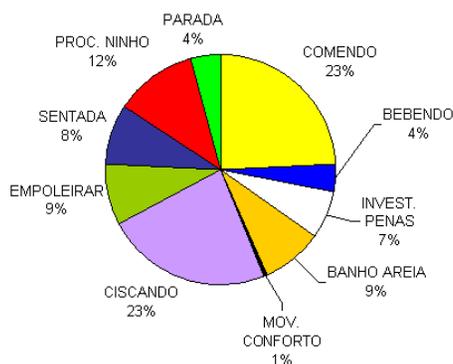


Figura 30: Média de tempo de expressão dos comportamentos da linhagem Hy-Line, no período da tarde para a condição de conforto.

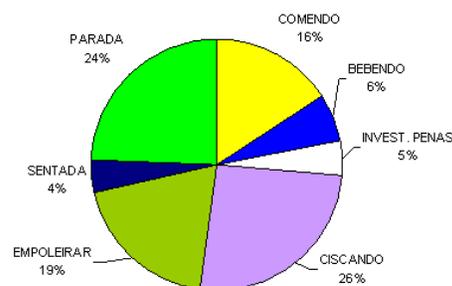


Figura 31: Média de tempo de expressão dos comportamentos da linhagem Hy-Line, no período da tarde para a condição de estresse.

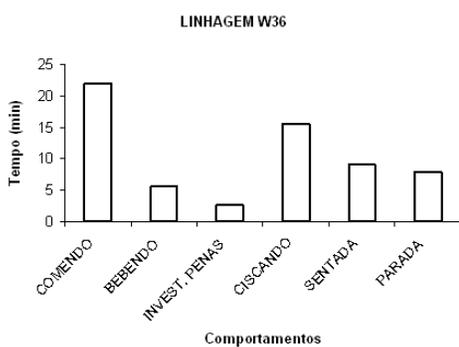


Figura 32 Média de tempo gasto na expressão dos comportamentos da linhagem Hy-Line W36, no período da manhã para a condição de estresse.

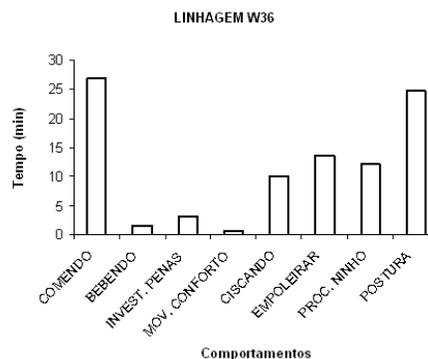


Figura 33 - Média de tempo gasto na expressão dos comportamentos da linhagem Hy-Line W36, no período da manhã para a condição de conforto.

O nível de informação obtido reflete a importância de entender-se a linguagem comportamental dos animais estudados, para que, de acordo com as mudanças ambientais, de manejo de produção e de instalações, se possa determinar um projeto que melhor se adapte ao animal, em função de suas exigências naturais.

As pesquisas na verdade, começaram a tomar caminhos para estabelecer algumas definições, com relação às exigências de mercado, no que se refere às mudanças das construções rurais para atender às exigências do bem-estar animal.

Um dos grandes questionamentos na suinocultura, ainda hoje, é justamente a proibição de gaiolas, na fase de gestação das matrizes e de gaiolas parideiras na maternidade. Esse fato coincide com a necessidade de estudar sistemas que possam agregar essas mudanças previstas, sem alterar o sistema produtivo, e principalmente sem promover perdas produtivas. O grande questionamento naquele momento, era qual a melhor condição para uma matriz suína em fase de gestação: baias individuais ou coletivas? Quais as alterações fisiológicas, comportamentais e produtivas poderiam acontecer?

Surgiu, então, mais um projeto de pesquisa apoiado pela FAPESP (2004)<sup>29</sup>, que resultou no trabalho de doutoramento de PANDORFI (2005)<sup>30</sup>: ele utilizou a zootecnia de precisão, englobando análises de imagens, inteligência artificial e lógica fuzzy para a tomada de decisões.

O registro das imagens, para sua posterior análise, foi realizado por meio de 8 microcâmeras coloridas (sistema NTSC), analógicas, de 300 linhas horizontais de definição, com sensibilidade mínima de 1 lux, 12 V de tensão a 180 mA e lente convergente de 2,45 mm. Esse tipo de câmera, tem como característica, impedância de saída 75  $\Omega$ , não havendo processamento digital ou compressão da imagem; portanto sua transmissão é em tempo real, equivalente a trinta fotos por segundo (figura 34).

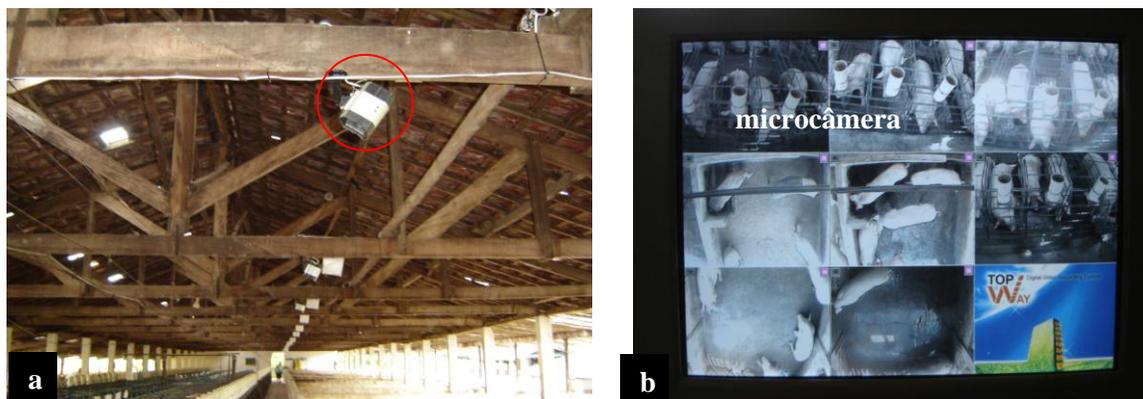


Figura 34 - Visualização da microcâmera instalada no local do estudo (a) e visualização da tela do software de captura das imagens (b).3.4.5 Análises do comportamento

<sup>29</sup> SILVA, I.J.O. Produção industrial de suínos e o uso da tecnologia da informação no estudo do comportamento bioclimático na fase de gestação e maternidade. Processo FAPESP n. 04/11074-6.

<sup>30</sup> PANDORFI, H.; Comportamento bioclimático de matrizes suínas em gestação e o uso de sistemas de inteligência artificial na caracterização do ambiente produtivo: suinocultura de precisão. 2005. 120 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola), ESALQ/USP.

Por meio dos resultados obtidos nas avaliações bioclimáticas, fisiológicas e comportamentais, conclui-se que, em relação aos sistemas de alojamento para matrizes gestantes, aquele que se mostrou mais adequado às condições de conforto e de bem-estar animal foi o de baias coletivas, apontando as variáveis meteorológicas e ambientais esse sistema de confinamento, como aquele que permitiu melhor condicionamento térmico natural às matrizes em gestação, que atende às exigências internacionais e à demanda animal por um ambiente com maior liberdade de movimentação e conforto térmico ambiental, e que potencializa o efeito de sua expressão produtiva. Com relação aos parâmetros fisiológicos e aos índices zootécnicos, apresentaram valores mais adequados para o tratamento as baias coletivas, assim como para o desempenho da parição dos leitões como testaram os filhotes provenientes das matrizes submetidas a esse tratamento;

Quanto ao perfil de variação comportamental das matrizes alojadas em baias individuais (BI) e coletivas (BC), verificou-se para a classe comportamental de atividades relacionadas à variação entálpica nos horários de observação, das 8 às 9 horas, com entalpia na faixa de  $63 \text{ kJ.kg}^{-1}$  para BI e de  $61 \text{ kJ.kg}^{-1}$  para BC, que os tempos de inatividade e de atividade em estado de alerta, foram menores em relação aos observados nos horários posteriores. Com o aumento da entalpia, tais comportamentos apresentaram sensível aumento, reduzindo-se as demais atividades, ou seja, o incremento de calor no ambiente promoveu a prostração das fêmeas, na tentativa de potencializar as perdas de calor sensível por contato, tanto nas baias individuais quanto nas coletivas (figura 35). Os comportamentos observados foram associados a diferentes variáveis respostas, no sentido de justificar e definir o melhor sistema de confinamento, dentre os estudados.

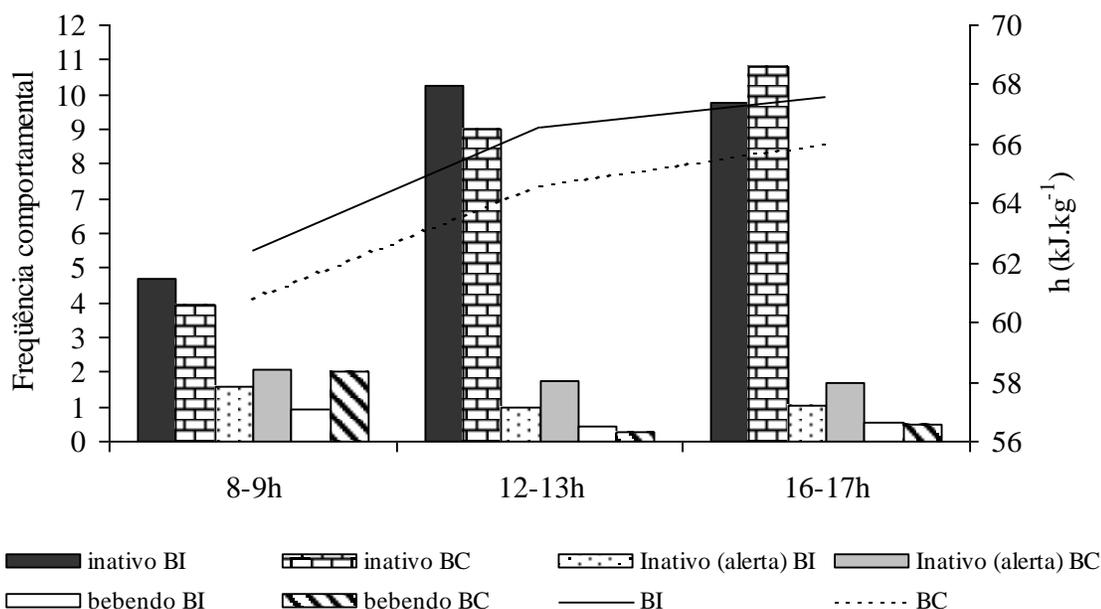


Figura 35: Variação das atividades comportamentais e entalpia para os dois sistemas de contenção, baias individuais e coletivas

No decorrer das pesquisas novas tecnologias foram inseridas no processo de avaliação do comportamento animal, novos softwares aplicativos, novas câmeras de captura, de forma a tornar cada vez mais exata a aquisição dos dados.

Na seqüência das pesquisas, surgiu também, em continuidade aos questionamentos com as aves de postura, a necessidade de definir-se o melhor sistema de produção em situação real (não em câmara climática) e avaliar-se o comportamento dos animais nesses sistemas. Várias pesquisas, visando à análise do bem-estar de aves poedeiras foram realizadas em nível experimental (BARBOSA FILHO, 2004; BURBIER, 1996; CURTO et al, 2002; FREIRE et al., 1999; LINDBERG & NICOL, 1997; LUNDBERG & KEELING, 2003; PEREIRA, et al., 2005; PEREIRA & NÄÄS, 2005; PEREIRA et al, 2006; PEREIRA & NÄÄS, 2006), ou em granjas comerciais (MOLLENHORST et al., 2005), evidenciando a utilidade da avaliação do comportamento por análises de imagens de vídeo nas avaliações de bem-estar.

Em 2003, RUDKIN & STEWART avaliaram os comportamentos de aves poedeiras em diversos tipos de gaiolas e concluíram que uma importante vantagem da análise de vídeos sobre a observação direta foi que os comportamentos de todas as

aves puderam ser observados ao mesmo tempo, permitindo, assim, a avaliação das interações entre as mesmas.

Então, por meio do projeto de pesquisa apoiado pela FAPESP (2003)<sup>31</sup>, realizou-se um trabalho que resultou na tese de doutoramento de ALVES (2006)<sup>32</sup>. Nessa pesquisa, as imagens dos comportamentos foram capturadas por 4 microcâmeras (figura 36a), coloridas (sistema NTSC), analógicas, de 300 linhas horizontais de definição, com sensibilidade mínima de 1 lux, 12 V de tensão a 180 mA e lente convergente de 2,45 mm. O monitoramento dos comportamentos foi realizado por meio de imagens de vídeo (figura 36b), gerenciadas pelo software “Geovision”.

As gravações das imagens foram realizadas em diferentes períodos do dia, selecionados em função da abrangência dos comportamentos. Assim, as gravações envolveram três períodos: manhã (das 8:00 às 10:00h) em que se concentravam os comportamentos de pré-postura e postura e o alimentar, meio do dia (das 12:00 às 13:00h) e tarde (das 15:00 às 16:00h), quando se concentravam os comportamentos de banho de “areia”, forrageamento e demais comportamentos de conforto.



Figura 36a – Câmera instalada acima das parcelas experimentais.



Figura 36b - Tela com imagens capturadas.

<sup>31</sup> SILVA, I.J.O.; Avaliação do bem estar bioclimático de aves poedeiras criadas em sistema convencional e em cama utilizando a lógica fuzzy: zootecnia de precisão. Processo FAPESP n. 03/12865-4

<sup>32</sup> ALVES, S.P.; Aplicação de inteligência artificial no estudo do comportamento de diferentes linhagens de aves poedeiras submetidas a criação em cama e gaiola.. 2006.130 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola), ESALQ/USP.



Figura 37a: Imagem capturada pelas câmeras do sistema de criação em gaiolas



Figura 37b: Imagem capturada pelas câmeras do sistema de criação em cama

Nas figuras 37a e 37b, são mostradas as imagens de vídeo capturadas pelas câmeras para o sistema de criação em gaiola e em cama respectivamente.

De qualquer forma para avaliar a importância da expressão corporal para o bem-estar, é necessário um entendimento de quais comportamentos são importantes para as aves. Assim, para determinar os comportamentos a observar, houve a necessidade da elaboração de um etograma, com base em gravações preliminares no local da pesquisa e de acordo com estudos realizados por PEREIRA, et al. 2005; PEREIRA & NÄÄS, 2005; PEREIRA et al, 2006; PEREIRA & NÄÄS, 2006; ALVES et al. 2004<sup>33</sup>; BARBOSA FILHO, 2004; MOLLENHORST et al. 2005; RUDKIN E STEWART, 2003; JENDRAL, 2002 e TAYLOR et al.2001. As imagens foram analisadas, determinando-se a porcentagem de tempo dispensada em cada comportamento listado no etograma. Posteriormente, foi analisada a porcentagem de tempo em que as aves permaneceram nesses comportamentos ao longo do período de observação, nos dois sistemas de criação avaliados. Esse tipo de trabalho, na verdade, é a grande desvantagem do uso dessa tecnologia, pois ainda é necessário um trabalho árduo do pesquisador nas definições dos comportamentos e na observação de cada instante gravado, realizando a contabilização dos movimentos.

<sup>33</sup> ALVES, S.P.; BARBOSA FILHO, J.A.D.; SILVA, M.A.N.; SILVA, I.J.O.; BERNARDI, J. Comparações entre comportamentos de aves poedeiras criadas no sistema de gaiolas e em cama. 2004. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, Campinas, v. 6, p. 140, 2004. Suplemento. Apresentado na Conferência APINCO, 2004, Santos.

A análise do comportamento das aves mostrou-se uma tarefa de difícil realização, demandando muito tempo para a observação e a análise das imagens de vídeo. Devido às características das aves, de se movimentarem constantemente ou de realizarem movimentos rápidos, foi necessário que as imagens fossem observadas atentamente e, muitas vezes, repetidamente, ressaltando a importância da análise por meio de imagens gravadas. Para a observação das aves em gaiolas, a análise foi mais fácil e rápida, uma vez que o repertório de atividades era mais limitado do que o das aves em cama.

Na pesquisa, pode-se avaliar o comportamento de aves de linhagens diferentes submetidas aos sistemas de criação em cama e em gaiola, o que pode ser observado nas figuras 38 e 39. Esse tipo de informação é importante para entender o comportamento das aves, quando se fala, hoje, em mudanças nos sistemas de criação, visando ao bem-estar animal.

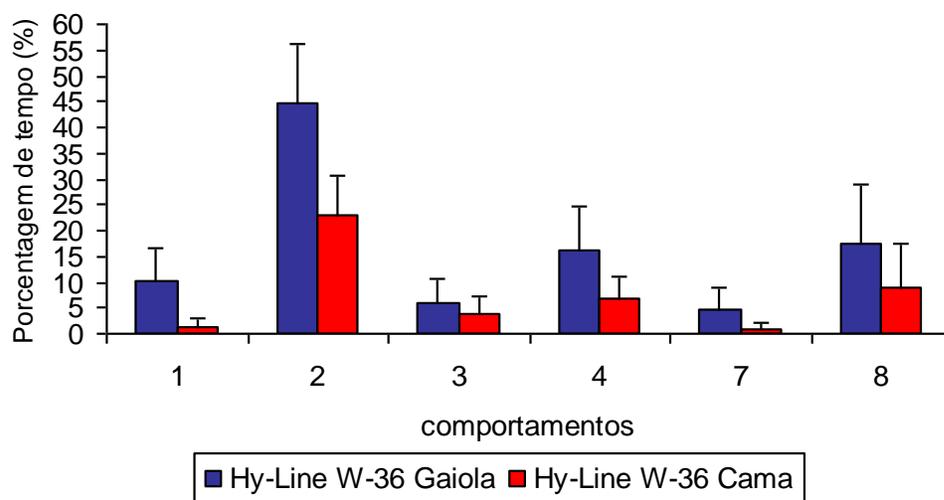


Figura 38 – Porcentagens médias e desvio padrão dos comportamentos possíveis para o ambiente gaiola e cama, realizados pelas aves Hy-Line W-36 no período total do dia. Sendo os comportamentos: 1-sentada; 2-comendo; 3-bebendo; 4- explorando penas; 5- bicagem agressiva; 6- bicagem não agressiva; 7- bicagem do objeto; 8 – outras

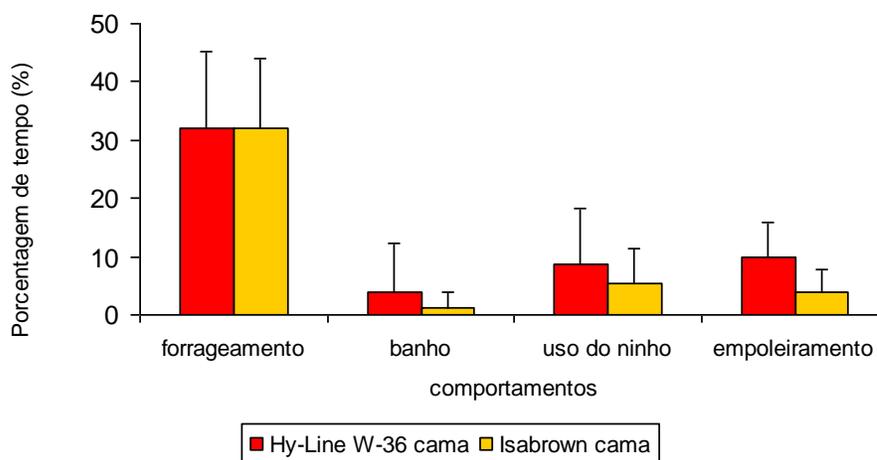


Figura 39 – Porcentagens médias e desvio padrão dos comportamentos realizados pelas aves Hy-Line W-36 e Isabrown, no período total do dia no sistema de criação em cama.

Nessa pesquisa, após as análises realizadas concluiu-se que a avaliação do comportamento das aves permitiu identificar atividades de preferência, bem como aquelas indicativas de estresse, o que possibilita a determinação das condições ambientais necessárias ao bem-estar das aves; e que o sistema de criação em cama, quando devidamente projetado, pode ser compatível com o de criação em gaiolas, no que diz respeito ao desempenho zootécnico e à qualidade dos ovos produzidos. Porém o sistema de criação em cama mostrou estimular a realização dos comportamentos naturais das aves e por isso apresenta maior adequação às exigências de bem-estar, pois permite liberdade para a movimentação e a realização de comportamentos naturais, além de extinguir a realização de comportamentos relacionados ao estresse ou a estereotípicas. O sistema de criação em cama, com condições de bem-estar mais apropriadas não apresentou melhor resultado no desempenho produtivo; porém, sob condições menos favoráveis ao conforto, mostrou índices produtivos mais elevados e melhor qualidade de ovos, bem como parâmetros fisiológicos mais adequados, (ALVES, 2006).

Com o desenvolvimento das pesquisas, houve a necessidade também de se avaliarem as inter-relações das técnicas utilizadas para o estudo do comportamento, ou seja, quais os melhores mecanismos, a identificação eletrônica por uso de transponders

ou pela análise visual de imagens, ou ambas, como ferramentas complementares. Toda a discussão direcionou-se para a relação custo benefício e para a eficiência das metodologias empregadas nas avaliações. Dessa forma PANDORFI et al (2005) avaliaram a eficiência das ferramentas de identificação eletrônica por análise de imagem e por transponders (IDRF). Os dados referentes aos sinais captados pelos diferentes sistemas de identificação eletrônica, utilizados como ferramentas para a análise do comportamento animal, apresentaram variação, como mostra a figura 40. Por meio dessa comparação entre os sistemas de identificação e de análise de imagem, pôde-se verificar que o registro da presença dos animais, no interior dos abrigos, ficou abaixo daquele verificado pela análise de imagem, apresentando uma eficiência menor para essa aplicação. Talvez a utilização de um controlador de acesso fosse mais adequada ao estudo, visto que as antenas não captaram a identificação de todos os animais. Outra possibilidade, que evidencia o menor registro dos sinais emitidos pelos *transponders*, são as interferências, ocasionadas pela rede de alimentação do sistema de identificação (antenas), ou seja, a presença de outros equipamentos ligados na rede, estruturas metálicas etc.

Diversas soluções foram propostas, na tentativa de evitar tais interferências, (CURTO, 2002).

Para os dados referentes à validação do sistema de identificação eletrônica, ao número de animais captados pelas antenas, em função do número de animais captados pelas câmeras de vídeo, utilizou-se a análise de regressão, envolvendo dados médios horários de registro. As retas de ajuste, 1:1, apresentaram uma tendência de variação linear, mostrando um valor de  $R^2$  (0,8677), significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, verificando-se um nível de confiança de 79%, quando se comparam os dados obtidos pelas antenas aos obtidos pelas microcâmeras (figura 41).

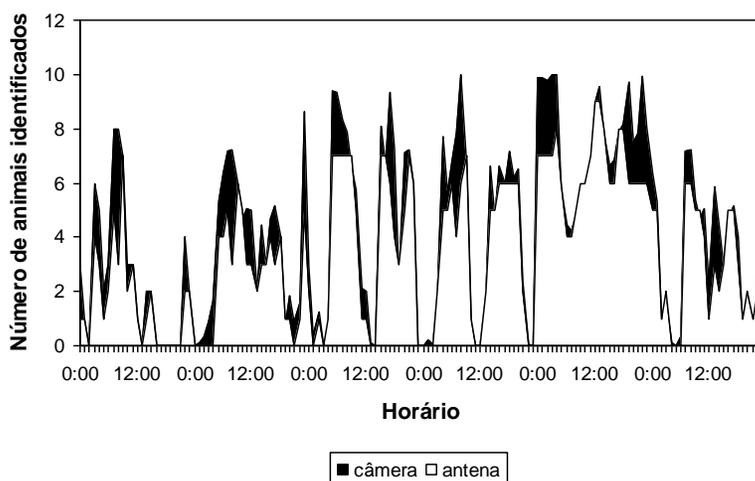


Figura 40: Variação do número de animais captados pela câmera de vídeo e pelas antenas de recepção do sinal emitido pelos microchips.

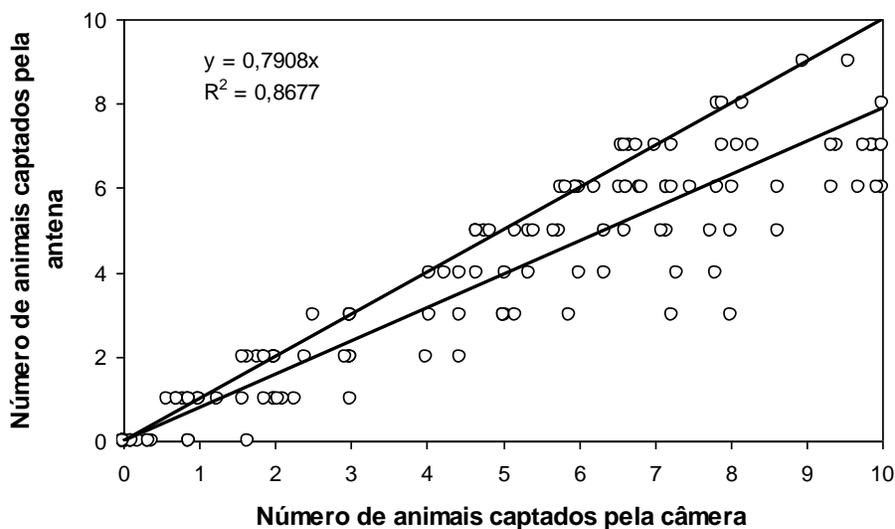


Figura 41: Representação da correlação entre o registro de dados pelas antenas e pelas microcâmeras

Dessa forma, a confiabilidade do sistema de análise de imagem foi superior à dos *transponders*, visto que estes apresentaram um erro de 21% na detecção da presença dos animais no interior dos abrigos.

Mais uma vez, reforça-se a importância dessa ferramenta nos estudos do

comportamento e do bem-estar animal. Nesse contexto de mutações, geram-se novos problemas, entre eles a forma como as imagens são avaliadas e contabilizadas, ou seja gera-se a necessidade de desenvolver sistemas de processamento das imagens capturadas, reduzindo, ainda mais, a interferência do erro humano.

Para essas novas demandas são necessários sistemas de análise automática dos comportamentos dos animais, ou mesmo da dinâmica destes em relação a determinadas situações, de forma a obter o maior número de informações possível em curto período de tempo. Respostas fisiológicas e comportamentais relacionadas ao ambiente são fontes seguras de informação sobre a influência do microclima local e suas conseqüências.

Sistemas de alto nível de programação, como “softwares” comerciais, possuem ferramentas auxiliares para informar sobre às atividades motoras dos animais, porém apresentam limitações quanto à análise de dados e necessitam de grande investimento inicial, o que pode ser um agravante para as instituições de pesquisas, não somente para obter os programas, mas também para atualiza-los contínua e necessariamente.

Com o avanço da microeletrônica e de modelagens matemáticas, é possível verificar o emprego de áreas como Inteligência Artificial, Visão Computacional e Sistemas de Automação, em pesquisas de alta tecnologia, em busca de conhecimento relevante para a melhoria das condições de bem-estar e da qualidade de vida dos animais de produção. A informática é uma grande aliada, no sentido de que pode servir de suporte para decisões e medidas preventivas baseadas em sistemas de informações.

Em função da necessidade de se desenvolverem metodologias (RODRIGUES, 2006)<sup>34</sup> para facilitar o levantamento de imagens, e ao mesmo tempo, utilizar o banco de imagens capturadas junto ao NUPEA pelas pesquisas desenvolvidas nessa linha, os trabalhos foram direcionados para a automação e uso da visão computacional, em projeto apoiado pela FAPESP (2005)<sup>35</sup>, com o objetivo principal de desenvolver uma metodologia que aplicasse a visão computacional para avaliar comportamentos de animais, no caso, aves poedeiras, em diferentes condições de estresse, observando

---

<sup>34</sup> RODRIGUES, V.C.; Distribuição espacial e bem estar de aves poedeiras, em condições de estresse e conforto, utilizando visão computacional e inteligência artificial. **Dissertação** (Física do Ambiente Agrícola), ESALQ/USP. 120p. 2006.

<sup>35</sup> SILVA, I.J.O.; Visão eletrônica: avaliação do comportamento bioclimático de aves poedeiras por meio de análise de imagens utilizando redes neurais. Processo n. 05/59486-3.

perfis comportamentais e a dinâmica das aves numa relação espaço-temporal. A pesquisa teve como objetivo secundário, apresentar, aos pesquisadores uma ferramenta que pudesse oferecer um conjunto de dados relevantes quanto ao comportamento e ao bem-estar dos animais avaliados de forma não onerosa e invasiva, para que não haja restrições quanto à qualidade de imagens e de investimentos iniciais, como demandam os “softwares” comerciais.

Sistemas computacionais são capazes de interpretar imagens digitais, a partir de um conjunto de métodos e de técnicas definidos por visão computacional. O conjunto de dados digitais é transformado em números, passíveis de interpretações que indiquem situações relevantes num contexto qualquer.

Assim, a visão computacional está em desenvolvimento, suas abordagens e suas soluções são ainda objetos de muitas pesquisas. Sua aplicação ainda não possui um modelo genérico, que possa englobar métodos distintos para os diferentes enfoques, tais como níveis de cognição que possam contribuir para uma percepção visual. Portanto os métodos são específicos para cada problema que se quer resolver (ROSENFELD, 1991).

Para interpretar imagens, a utilização de um conjunto de algoritmos específicos é necessária. Esses algoritmos utilizam técnicas como filtros de contrastes, detectores de bordas de objetos, segmentação de imagens em regiões, classificadores de cores entre outras. A seqüência desses algoritmos gera resultados para um conjunto específico de imagens, não se podendo generalizá-las para os demais estudos (GONZALEZ, 2001). Dessa forma, compreender as limitações e os recursos disponíveis faz parte do estudo da aplicação das técnicas em questão. O correto gerenciamento das informações é resultado do emprego dessas tecnologias, pois permitem monitorar e controlar o funcionamento de um sistema de forma segura, com o objetivo de registrar ocorrências de um determinado evento (FIALHO, 1999).

Esse processo apresenta descrições de objetos de pesquisa contidos em vídeos, imagens e seqüências destas. O processamento digital de imagens (“Digital Image Processing – DIP”) é um conjunto de técnicas de transformações, às quais as imagens são submetidas com o propósito de extrair informações relevantes das mesmas,

eliminando ruídos e barreiras físicas para a melhor interpretação humana e computacional (GONZALEZ, 2001).

O termo análise está relacionado à descrição quantitativa das informações contidas em uma imagem, indicando parâmetros que descrevem eventos. As informações obtidas apresentam-se de várias formas, como a área de objetos, a distribuição destes, a densidade, entre outras, conforme a necessidade da pesquisa em questão.

Uma imagem real (analógica), para tomar o formato de um processamento digital, precisa ser discretizada, para fazer-se uma amostragem, através das placas de aquisição de imagens, de  $f(x, y)$ , que é a divisão dos eixos  $x$  e  $y$  numa grade formada por “pixels”. A função  $f(x, y)$  nas direções de  $x$  e  $y$  gera uma matriz  $M \times N$  de pontos ( $M$  linhas e  $N$  colunas), com valores discretos de intensidade de  $f$  em  $K$  níveis de cinza.

Quando o par de coordenadas  $x$  e  $y$  e a amplitude  $f$  assumem valores finitos, discretos, diz-se que a imagem é digital, pois apresenta valores fixos para cada ponto da imagem, os chamados “pixels”, que são os elementos das imagens digitais.

Os programas de processamento e de análise de imagens trabalham com níveis de cinza, portanto a imagem deve estar binarizada. Dessa forma, quando se tem o conhecimento dos níveis da imagem, pode-se adotar um limiar relacionado aos tons de cinza e através da subtração do plano de fundo, adquirir imagens com os objetos em evidência apenas (KENNETH, 1996).

No desenvolvimento do trabalho, a distribuição espaço-temporal das aves foi relacionada com a informação sobre o local onde as aves se encontram no instante da análise da imagem. Ao longo do tempo, as aves movem-se de forma a ocupar uma das áreas delimitadas pelo experimento, que poderiam ser o bebedouro, o comedouro, o ninho, entre outras posteriormente definidas.

Isso contribuiu para que a técnica de segmentação de imagem, através de clusterização “K-means”, fosse utilizada para a separação de cada uma das aves (dorso com a tinta) em imagens isoladas. Dessa forma, favoreceu a efetiva análise de distribuição espaço-temporal apresentada nos tratamentos mencionados, viabilizando a análise de freqüência de cada uma das aves em locais, tais como bebedouro,

comedouro, área livre, “bebedouro + comedouro” e ninho, ao longo dos períodos analisados.

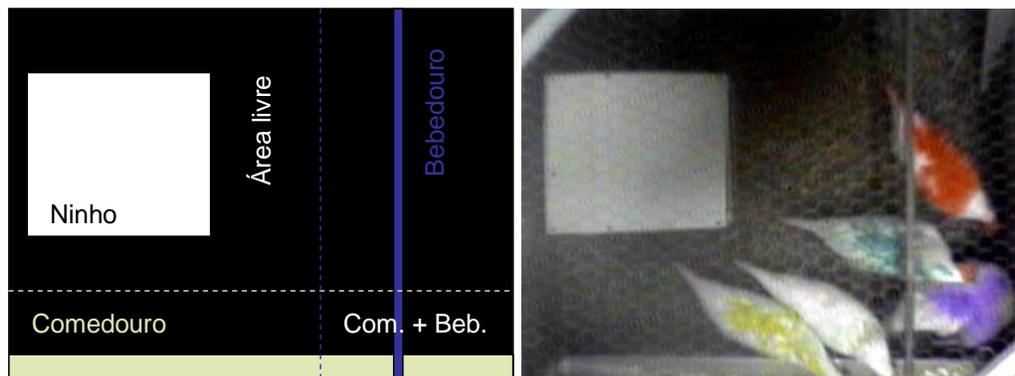


Figura 42 – Regiões demarcadas para a análise da dispersão espaço-temporal, relativas ao sistema de confinamento das aves

A partir da separação de cada ave (dorso) em imagens distintas, são possíveis a binarização delas e o cálculo do centro de massa, para o estudo da distribuição espaço-temporal. Desse modo, pode-se desenvolver um estudo de tendência de concentração das aves ao longo dos tratamentos.

O sistema de reconhecimento de padrões tem o objetivo de identificar as formas adquiridas pelos corpos das aves em determinados comportamentos, como beber, comer, estar parada, sentada, ciscando e investigando as penas.

O objetivo da busca por padrões de postura corpórea está relacionado à necessidade de obter informação quanto ao comportamento efetivo da ave num dado momento da análise, pois pode haver muito tempo de permanência da ave em um determinado local, mas seu comportamento pode não retratar a necessidade de estar naquele lugar específico. Por exemplo: a ave pode apresentar-se muito tempo na área delimitada pelo comedouro, porém pode estar parada, ou efetuando qualquer outro tipo de comportamento sem se alimentar.

Os padrões comportamentais e suas conseqüentes posturas corpóreas, que poderão ser diferenciadas por um sistema de Visão Computacional, baseado em Redes

Neurais Artificiais, são detalhados abaixo e estão relacionados às avaliações de acordo com RUDKIN & STEWART (2003).

Para cada um desses comportamentos, foi verificada a possibilidade de ser corretamente classificado através de uma Rede Neural Probabilística (Probabilistic Neural Network, PNN), independente das variações ocorridas pela rotação, pela translação e pela escala das imagens. Para isto foi utilizado o algoritmo da transformada de Fourier-Mellin (DOLL, 2004) capaz de transformar as imagens em espectros invariantes, ou seja, o tamanho dos objetos, a rotação e a translação não são informações pertinentes ao processamento, mas, sim, as formas geométricas assumidas, disponibilizadas desse modo, para a entrada de dados em sistemas de classificação como as Redes Neurais Artificiais.

A análise conjunta da distribuição espacial e do reconhecimento de formas pode fornecer dados importantes para o estudo da dinâmica das aves nos dois tratamentos adotados.

Para a determinação da metodologia proposta, foi necessária uma seqüência de atividades, de forma a equacionar os problemas, assim definidos em etapas: Pré-processamento de imagens, Processamento de imagens e Análise de imagens.

As funções e os algoritmos necessários ao processamento das seqüências de imagens foram implementados com a utilização do “software” MATLAB 7.0® e seus “toolboxes” de Processamento de Imagem e Estatística. Trata-se de um sistema que trabalha com matrizes de forma rápida, o que facilita tarefas e soluciona muitos problemas computacionais em tempo real.

Para o estudo do Reconhecimento de Padrões, foi adaptado um programa de Redes Neurais Probabilísticas, utilizando a linguagem de programação C, segundo padrão ANSI (American National Standards Institute), com base em programa desenvolvido por SOLER (2003), o que será discutido melhor no próximo item relacionado a essa linha de pesquisa.

As figuras 43 e 44 ilustram as seqüências de operações de pré-processamento, necessárias para os posteriores processamento e análise de imagens.

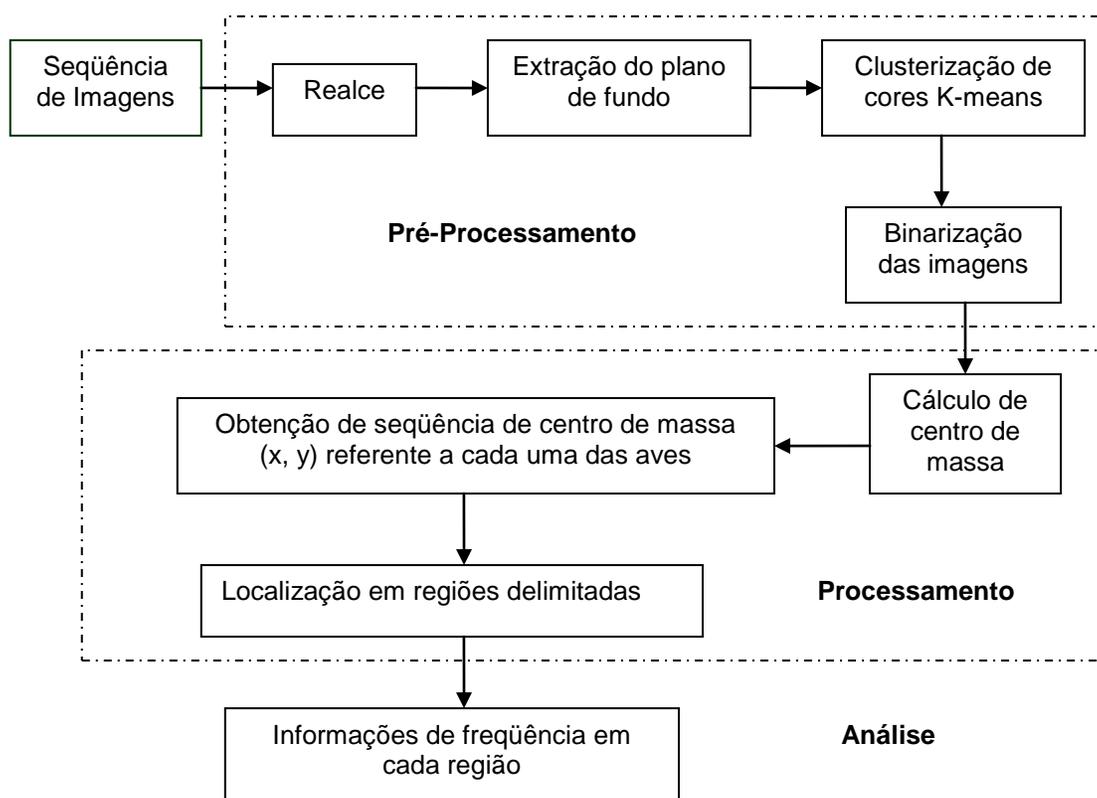


Figura 43: Etapas necessárias à obtenção da distribuição espaço-temporal das aves.

O pré-processamento da seqüência de imagens é a etapa fundamental para obter bons resultados na fase de análise e consiste em melhorar a imagem, adotando técnicas específicas.

O processamento de imagens foi caracterizado por soluções específicas, que visam a obter informações do conjunto de imagens pré-processadas, em uma dada seqüência temporal. Foram utilizadas duas técnicas de processamento com diferentes finalidades: o cálculo de centro de massa, para avaliar a distribuição das aves nas regiões delimitadas, e a aplicação do algoritmo de Fourier-Mellin (DOLL, 2004), para obter as posturas corpóreas das aves. Desse modo, para cada seqüência de imagens processadas foram obtidas informações quanto à freqüência nas regiões anteriormente definidas e às posturas do corpo de cada uma das aves ao longo do tempo. As seqüências de imagens foram processadas, e os dados, coletados em série, formando o conjunto de dados de dispersão espaço-temporal de cada ave individualmente.

Para tanto, será utilizada a técnica estatística de Análise de Correspondência, que permitirá, de forma simples, o conhecimento de regiões com maiores frequências das aves em cada um dos períodos, para os dois tratamentos mencionados.

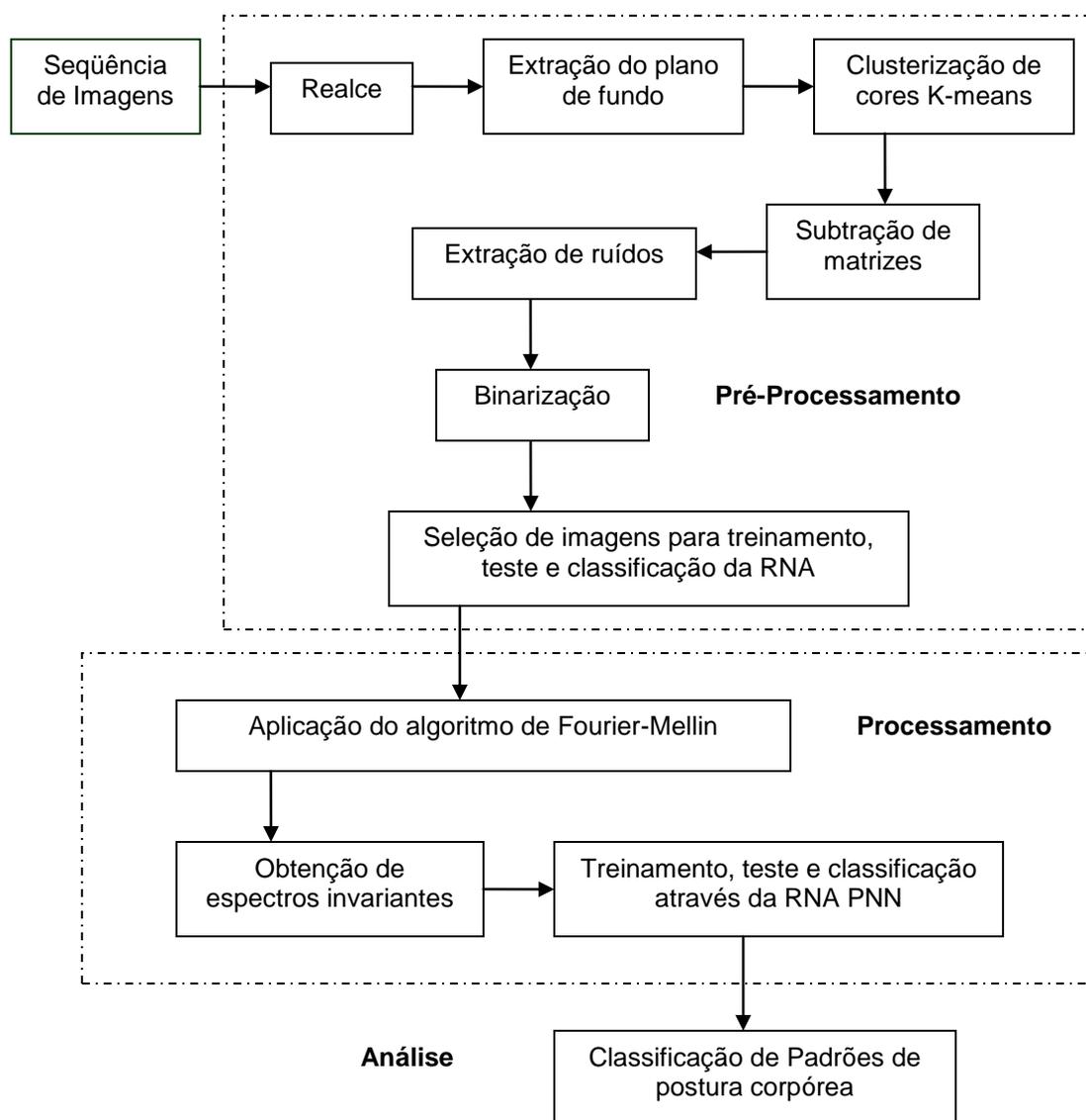


Figura 44: Seqüência de operações para a análise de postura corpórea das aves.

A primeira etapa para o rastreamento das aves foi detectar as regiões que as contêm: trata-se da separação entre a imagem original, (figura 45a), e o plano de fundo (imagem sem as aves), pela subtração de matrizes, que retorna uma imagem apenas com os objetos não pertencentes ao plano de fundo (figura 45b). Cada ave foi separada,

através da cor do dorso, atribuída ao sistema de marcação utilizado (pintura com tinta não tóxica). Através de processo de Clusterização K-means, o dorso de cada ave pôde ser identificado (figura 45c). Os objetos de cada imagem foram localizados pelo centro geométrico; em seguida, cada imagem foi processada de forma a indicar a localização deles em coordenadas (x,y). Após a etapa de pré-processamento das imagens, a região de interesse foi delimitada pelo mesmo sistema e a distribuição de pontos foi totalizada ao fim de cada vídeo. Dessa foram obtive-se o número de aves (centro geométrico) na região de interesse (bebedouro). Esta área foi selecionada de forma que apresentasse mais de 100% do corpo das aves quando estas estavam na linha do bebedouro. Dados de pesquisa anteriores foram utilizados, a fim de verificar a efetiva análise de imagens quanto ao número de aves que, necessariamente, estavam bebendo água num dado instante.



Figura 45: a) Aves em boxe na região do bebedouro; b) subtração do plano de fundo; c) Ave separada da imagem original

O processamento das imagens resultou em informações quanto à distribuição das aves e as posturas corpóreas apresentadas pelas mesmas, ao longo dos três períodos e dos tratamentos analisados. O processamento das imagens foi realizado pelo método de distribuição espaço-temporal e pelo método de reconhecimento de padrões, em que, para cada método foram feitas as análises de imagens.

Foi analisada a distribuição espaço temporal de cada uma das aves, durante uma hora, em três períodos do dia, para dois dias de cada tratamento. A freqüência em cada uma das regiões, o tempo de inatividade e a dependência temporal de algumas distribuições para os dois tratamentos foram analisadas, sendo esta última avaliada por técnica de análise de correspondência, a fim de verificar em quais dos períodos de cada tratamento houve maior ou menor freqüência de uso das regiões específicas.

O processamento das imagens permitiu que se obtivessem mapas com as indicações das regiões mais freqüentadas pelas aves, nos três períodos, para cada um dos tratamentos adotados.

A figura 46 ilustra as tendências de trajetórias das aves ao longo dos períodos avaliados, identificando as regiões de maior freqüência.

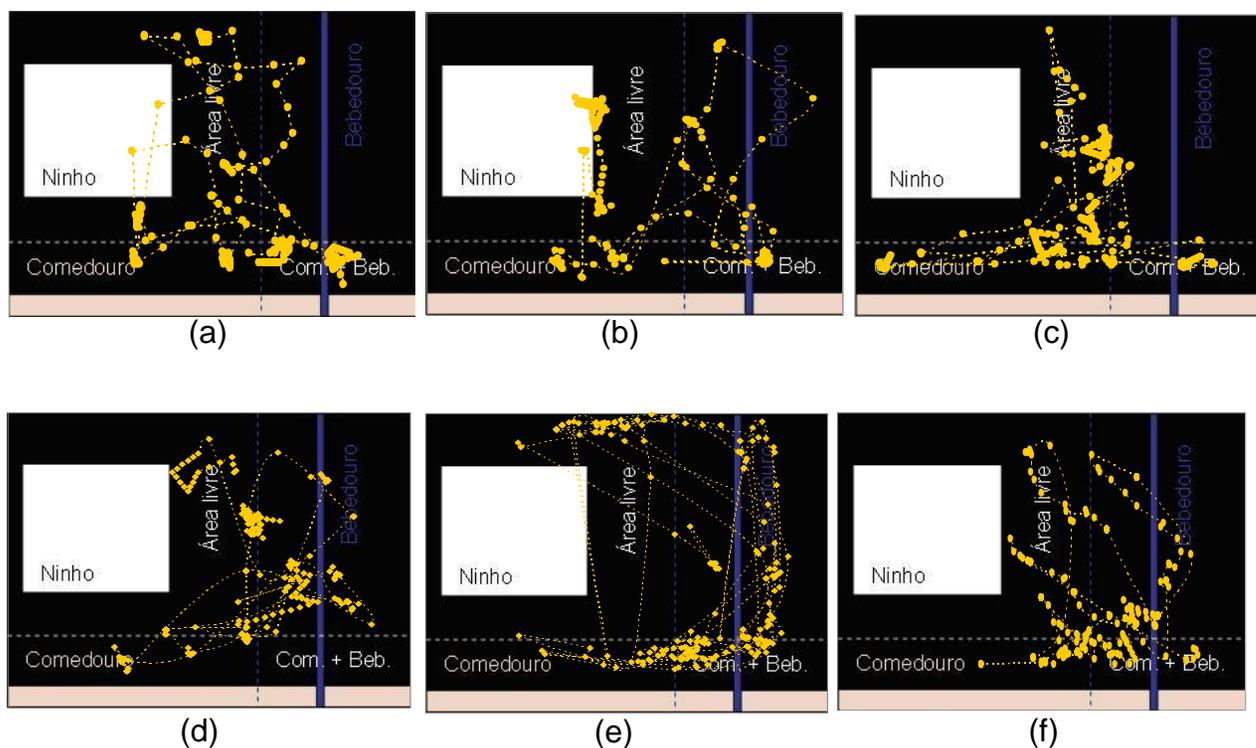


Figura 46 – Distribuição de aves em situação de conforto térmico: (a) Período 1; (b) Período 2; (c) Período 3; e estresse térmico: (d) Período 1; (e) Período 2; (f) Período 3; (Período 1: 10:00 às 11:00 ;Período 2: 13:00 às 14:00 ; Período 3: 16:00 às 17:00 )

Finalizadas as etapas de pré-processamento e de processamento, as informações extraídas, nesta última etapa, são, então, avaliadas por meio de estudos de freqüência das aves nas regiões delimitadas vistas anteriormente e também através da análise de correspondência.

Por meio da avaliação da distância Euclidiana, como pode ser observado nas figuras 47 e 48, quanto menor a distância entre os períodos e o local de permanência, maior correlação existe entre eles.

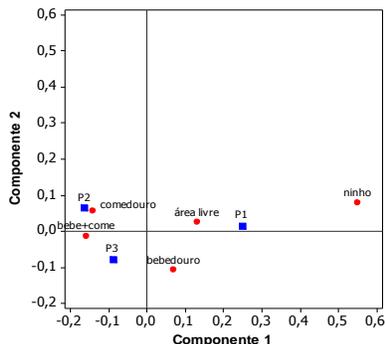


Figura 47: Ilustração da análise de correspondência em situação de conforto térmico

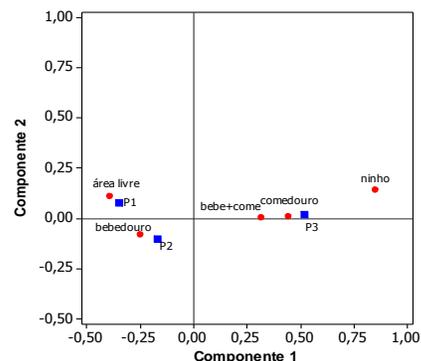


Figura 48: Ilustração da análise de correspondência para a situação de estresse térmico

Todo o desenvolvimento da metodologia nessa pesquisa (RODRIGUES, 2006) foi comparado aos dados obtidos pela classificação das imagens, feitas pela Rede Neural Probabilística, com os dados de origem pertencentes ao trabalho de BARBOSA FILHO (2004). Os resultados foram satisfatórios, destacando-se a eficiência da metodologia proposta.

### 3.2.3. Contribuição científica da linha de pesquisa

As pesquisas na área de análise de imagens de animais de produção estão diretamente relacionadas ao bem-estar, aos níveis de conforto e aos projetos das instalações. As tecnologias da informação disponíveis, para que as informações sejam cada vez mais precisas, estão cada vez mais desenvolvidas. Portanto há a necessidade de adaptarmos a realidade de nossas produções, utilizando as tecnologias disponíveis, para proporcionar reduções de perdas e facilitar as tomadas de decisão.

Trata-se de uma temática bastante nova na área de ambiência animal aplicada, mas as etapas de desenvolvimento, as dúvidas que surgem com o aparecimento de técnicas “importadas” e a aplicabilidade à nossa produção vêm sendo gradativamente, desvendadas pelos pesquisadores nacionais da área.

As pesquisas discutidas neste capítulo demonstram a facilidade de manipular as imagens para a análise de animais dispostos no tempo e espaço.

Para o início do estudo de uma seqüência de imagens, há a necessidade de conhecimentos prévios quanto ao planejamento de aquisição destas, de forma que o período de pré-processamento não seja repleto de operações para a retirada de ruídos e obstáculos da imagem, ou seja, não demande muito tempo de execução.

A dinâmica dos animais confinados pode ser verificada, ao longo de seqüência de imagens, como vários autores estudaram (BENSON, 2004; DUSENBERY, 1985; LEROY, 2005; McFARLANE, 1980; MARCHANT, 1993; SERGEANT, 1998; TILLET, 1991), a fim de caracterizar o meio ao qual estão submetidos e de proporcionar uma forma eficaz de caracterizar as mudanças de comportamentos, ao longo dos tratamentos dispensados nos meios de confinamento. E isso pode ser aplicado em técnicas de processamento e de análise de imagens.

Quanto à caracterização de posturas corpóreas, não há, na literatura uma referência que possa mostrar a eficiência do método de reconhecimento de padrões. O algoritmo utilizado (DOLL, 2004) é um dos trabalhos de base para o processamento de imagens de faces humanas, para o reconhecimento de sistemas de segurança, como câmeras para a permissão de entrada de pessoas em um determinado local.

O início da busca por sistemas inteligentes, capazes de caracterizar comportamentos de animais, fez-se presente nesses trabalhos. As contribuições futuras serão de grande importância para, se possível, implementar maiores técnicas e modelos, a fim de que a etologia possua uma ferramenta precisa e que possa apresentar eficiência em análises que demandam muito tempo ao experimentador.

### **3.2.4. Aplicabilidade ao produtor**

As pesquisas desenvolvidas poderão, no médio e curto prazos, viabilizar sistemas automáticos de informações em tempo real, quanto ao nível de dispersão dos animais em galpões comerciais.

No caso da avicultura, por exemplo, em situação de desconforto, as aves tendem a se concentrar em regiões que propiciem eficientes trocas térmicas, quando submetidas ao estresse calórico.

A área que apresenta evasão das aves é um indicativo de que existem problemas nesses locais, como ventiladores com fluxo de ar em excesso ou em falta, demanda por água, baixa frequência aos comedouros, entre outros. As técnicas poderão auxiliar a identificação de áreas de evasão, na tomada de decisões.

O método de visão computacional apresentado, propicia informações em tempo real, quanto ao deslocamento dos animais e à frequência de acesso a regiões de interesse.

A tendência atual é que essas técnicas desenvolvidas sejam de fácil utilização, quando for transformada em “software” de uso direto.

Devem-se considerar a evolução tecnológica do setor, as necessidades do entendimento do comportamento animal e das condições delimitadas pelo bem-estar dos mesmos. Nesse sentido, acredita-se que as pesquisas, desenvolvidas até o momento, aproximam do usuário final, a realidade atual de grande utilização de sistemas inteligentes.

Teremos, num futuro próximo, os sistemas de climatização, de abastecimentos de água e de alimentação de unidades produtoras de proteína animal, sendo automatizadas, não pelos sensores de temperatura ambiente dentre outros, mas pelas reações e pelos comportamentos dos animais. Estes “falarão” por meio de seus comportamentos, pois acreditamos que a ***linguagem animal é comportamental...***

## **3.3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: LÓGICA FUZZY E REDES NEURAIS**

### **3.3.1. Introdução**

**N**o cenário competitivo atual, construir e gerenciar conhecimento de apoio a especialistas no controle de processos de maneira geral, pode ser útil para uma unidade de produção, seja industrial seja agropecuária, principalmente quando se trata de processos que ocorrem sob incertezas e com dados incompletos.

O controle manual em um processo contínuo é exercido instante a instante, por intermédio de decisões que exigem, do especialista, o conhecimento necessário para relacionar ações e resultados. Exigem, ainda, o acompanhamento da operação, algumas ações nas variações operacionais, experiência e segurança suficientes, para assumir riscos em situações extremas.

A Inteligência Artificial (IA) é um campo de conhecimento que oferece modelos de apoio à decisão e ao controle, com base em fatos reais e conhecimentos empíricos e teóricos, que, ao mesmo tempo, são apoiados em dados incompletos.

Na verdade o oposto da inteligência artificial é o caos: em um sistema caótico, duas entradas muito próximas resultam em duas saídas sem qualquer conexão, CONAI, 1994.

Já para MCCARTHY (2002) a inteligência artificial é a parte computacional da habilidade de alcançar objetivos, percebendo-se diversos tipos e graus de inteligência em pessoas, em muitos animais e em máquinas.

Algumas definições esclarecem a temática e suas aplicações nas diferentes áreas. Para ARARIBOIA (1988), a inteligência artificial é um campo que usa técnicas de programação e que procura, por intermédio de máquinas, resolver problemas do mesmo modo como o ser humano os resolveria. Mas para NIKOLOPOULOS (1997), a IA é um campo de estudo multidisciplinar, originado da computação, da engenharia, da psicologia, da matemática e da cibernética, cujo principal objetivo é construir sistemas

que apresentem comportamento inteligente e desempenhem tarefas com um grau equivalente ou superior ao grau em que um especialista humano as desempenharia.

Nesse sentido, as técnicas de IA procuram imitar mecanismos da natureza, por intermédio de mecanismos tecnológicos, cujo desenvolvimento foi baseado em mecanismos naturais, ARARIBOIA (1988).

### **3.3.1.1. Sistemas inteligentes**

Um sistema inteligente deve ser capaz de realizar inferências e associações (modo não linear), de forma eficiente, em uma grande base de conhecimentos, para resolver problemas reais. Para um sistema ser considerado “inteligente”, o mesmo deve se comportar como um ser humano, não em toda a plenitude, mas deve possuir alguma característica do comportamento humano, como adaptação, organização, encadeamento de conhecimento não linear e tomada de decisões.

À medida que a complexidade computacional cresce para a solução de algum problema real, o conhecimento associado a regras de inferência tornam-se mais importante para a minimização da complexidade e a resolução, em tempo hábil, de problemas, CORMEN et al (2002).

Nessa seqüência, surge o conceito de **SISTEMA BASEADO NO CONHECIMENTO (SBC)**, programas computacionais que utilizam explicitamente uma base de conhecimento para a resolução de problemas reais, anteriormente solucionados apenas por peritos ou especialistas.

### **3.3.1.2. Sistemas especialistas**

Sistemas especialistas são sistemas computacionais que resolvem problemas de forma similar ao modo como o especialista humano resolveria, possuindo a capacidade de decisão em campos específicos do conhecimento. Na verdade, os sistemas especialistas buscam respostas e aprendem com a experiência, resolvendo problemas por análises inferenciais, a partir de sintomas e intensidade aleatórios, e apoiados em

bases de conhecimento que, podem inclusive ser transferidas. Os sistemas especialistas, de acordo com NIKOLOPOULOS (1997) e RABUSKE (1995), possuem:

- a) Um banco de conhecimentos que contém os fatos, as regras e os padrões;
- b) Um dispositivo de inferência capaz de tomar decisões;
- c) Uma linguagem nas quais as regras são escritas;
- d) Um organizador que inclui o dispositivo de inferência, o gerenciado de dados de conhecimento e as interfaces com usuários.

Na verdade, um sistema especialista é um subconjunto de um sistema baseado em conhecimento. Pode-se dizer que um sistema baseado em conhecimento torna-se um sistema especialista, quando o conhecimento se restringe a um domínio específico e requer alto grau de especialização na resolução de problemas do mundo real. A figura 48 ilustra um sistema especialista, como subconjunto de um sistema baseado em conhecimento, que, por sua vez, é um subconjunto dos sistemas inteligentes.

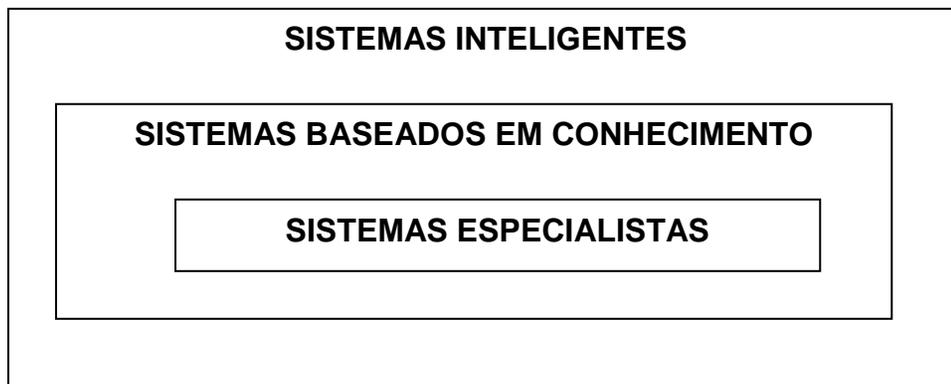


Figura 48: Composição de sistemas inteligentes a partir de sistemas baseados em conhecimento e sistemas especialistas, MENDONÇA (2004).

Dessa forma, de acordo com a evolução dessas técnicas direcionadas à produção, nossos trabalhos desenvolveram-se em relação às ferramentas que participam dessa linha de pensamento, na tentativa de encontrar soluções de multivalência da informação relacionados à produção animal, especificamente envolvendo o bem estar de aves e de suínos. Devido à introdução dessa visão no desenvolvimento das respostas das pesquisas, iniciou-se a utilização da lógica fuzzy e das redes neurais artificiais nos projetos de pesquisa envolvendo a produção animal, a ambiência em geral e com direcionamento para o bem-estar animal.

### 3.3.2. Lógica *fuzzy*

A lógica *fuzzy* (difusa) é uma técnica que pode resolver problemas de modelagem complexa, com aspectos qualiquantitativos sujeitos às variações probabilísticas relevantes, ou descritos por bases de dados diferentes e incompletos. Seu processo decisório baseia-se em variáveis lingüísticas, que simulam e replicam elementos do pensamento humano, principalmente em bases comparativas, como, por exemplo o mais alto, mais frio, ou vagas, como alto, baixo, bom, ruim, (KACPRZYK, 1997).

A teoria de conjuntos *fuzzy* foi introduzida por Lotfi Asker Zadeh em 1965, como uma teoria matemática aplicada a conceitos vagos. Desde então, a pesquisa e a aplicação dessa teoria em sistemas de informação têm crescido. Uma área de aplicação da teoria *fuzzy* é o chamado raciocínio aproximado, pois não é totalmente certo nem totalmente errado. Esse tipo de lógica aproxima-se da forma do pensamento humano. Nesses casos, variáveis lingüísticas são representadas por conjuntos *fuzzy*, interpretando uma variável lingüística como uma variável cujos valores são palavras ou sentenças em uma linguagem natural. Dessa forma, conjuntos *fuzzy* proporcionam, aos métodos de desenvolvimento de sistemas computacionais, uma forma de programação mais próxima da linguagem e do raciocínio humanos, ou seja, a dualidade nas respostas, além da existência de variação nas opções (ZADEH, 1965).

Enquanto a lógica clássica aristotélica é "bivalente", isto é, reconhece apenas dois valores; verdadeiro ou falso, a lógica *Fuzzy* é "multivalente", o que quer dizer que reconhece uma multitude de valores, assegurando que a verdade é uma questão de ponto de vista de graduação, definindo o grau de veracidade em um intervalo numérico [ 0, 1]. Desde então, a pesquisa e a aplicação dessa teoria em sistemas de informação têm se estendido para várias áreas de conhecimento, principalmente visando à produção, (SHAO; SIMÕES, 1999).

Define-se lógica *fuzzy* como uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em uma linguagem natural, e convertê-las a um formato numérico, de fácil manipulação pelos computadores atuais, ou seja, suporta os modos

de raciocínio que são aproximados, ao invés de exatos, como se está naturalmente acostumado a trabalhar.

De acordo com CORNELISSEN et al. (2002), a idéia da lógica *Fuzzy* é combinar conceitos da lógica clássica (ou lógica *crisp*) com uma relação graduada, que permita melhor realizar análises que se aproximem do mundo real. Dessa forma, a lógica Fuzzy é uma ferramenta de gerenciamento de incertezas, através da expressão de termos com um grau de certeza compreendido no intervalo [ 0, 1].

Assim, enquanto as fronteiras dos conjuntos clássicos são bem definidas, as dos conjuntos *fuzzy* apresentam uma nebulosidade, a qual tenta se aproximar das impressões do modo de raciocínio humano (CORNELISSEN, 2002).

Na Lógica Clássica, os predicados são termos exatos, como igual a, maior que, ímpar, primo, etc. Na Lógica *Fuzzy*, os predicados são termos subjetivos, indefinidos ou “nebulosos” como: magro, alto, úmido, quente, velho, etc.

Segundo a literatura (ZADEH, 1973; ALTROCK, 1995; ANDRADE, 1997), a utilização da lógica *fuzzy* é especialmente adequada a problemas de natureza biológica, pois estes apresentam as seguintes características: o processo é definido de maneira vaga, imprecisa, incerta; há ocorrência de situações de difícil estimativa ou avaliação dos parâmetros que definem o processo; o sistema é não linear e variante no tempo; há ocorrência de situações nas quais é difícil o registro do valor das variáveis; as medidas podem ser pouco confiáveis.

Além disso, com a utilização de regras *fuzzy* e de variáveis lingüísticas, o sistema monitorado passa a desfrutar das seguintes possibilidades: simplificação do modelo do processo; melhor tratamento das imprecisões inerentes aos sensores utilizados; facilidade de especificação das regras de controle, em linguagem próxima à natural; satisfação de múltiplos objetivos de controle; facilidade de incorporação do conhecimento de especialistas humanos;

A lógica *Fuzzy* pode, sistematicamente, traduzir os termos fuzzy da comunicação humana em valores compreensíveis por computadores. Já que os computadores são máquinas de aplicações gerais, que podem interfacear com processos físicos,

químicos, térmicos e biológicos, a forma de comunicação humana pode ser utilizada para diretamente intercambiar as informações entre os operadores e tais processos.

Partindo desse princípio, a introdução dos conhecimentos da teoria dos conjuntos *fuzzy* na área de produção animal, principalmente relacionando aos sistemas do ambiente construído e às construções rurais propriamente ditas, mostra-se inovadora e atual.

Deve-se considerar, que essa ferramenta pode auxiliar muito as tomadas de decisão em projetos de automação em ambientes climatizados, considerando uma série de variáveis de entrada, que possam refletir eficientemente as respostas do usuário, nesse caso os animais.

### **3.3.2.1. Aplicação na produção animal**

Os modelos *fuzzy* parecem ser ferramentas valiosas na forma como vinculam as informações mensuráveis para a interpretação lingüística, podendo avaliar os sistema de produção de ovos em relação ao interesse público sobre o bem-estar (CORNELISSEN, 2002).

A utilização em trabalhos com vacas de leite foi relatada por FIRK et al. (2003), que usaram a ferramenta para verificar a melhoria na previsão de inseminação em vacas leiteiras, utilizando a base de dados de identificação do cio, quando comparada a métodos convencionais.

Também CVETICANIN (2003) apresenta uma metodologia de pesagem eletrônica para gado, em que um algoritmo foi desenvolvido, utilizando a lógica *fuzzy*. Para o dimensionamento de dietas para gado em condições de semi-estabulação, CADENAS et al. (2003) estipularam um cenário, usando a programação linear *fuzzy*, associada a um processo de tomada de decisão.

MENDONÇA (2004) usou a lógica *fuzzy* em um trabalho relacionado a um simulador de cenários bioeconômicos para suporte à decisão no gerenciamento de fazendas produtoras de gado de corte, na região centro-oeste do Brasil.

As principais áreas de aplicação da lógica *fuzzy* são: sistemas de controle *fuzzy*, tomada de decisão, reconhecimento de padrões e processamento de imagens, medicina, ecologia, banco de dados *fuzzy* e aplicações em sistemas operacionais.

As informações obtidas dos sistemas de produção geralmente são interpretadas em termos lingüísticos. Os índices de desempenho, a qualidade do produto final, do ambiente de criação e, atualmente, o bem-estar animal são parâmetros avaliados qualitativamente e classificados por variáveis lingüísticas.

Dessa forma, a aplicação da teoria dos conjuntos *Fuzzy* vem ocorrendo nas áreas de ambiência e de produção animal, por pesquisadores brasileiros, (QUEIROZ et al, 2005; AMENDOLA et al, 2004a; AMENDOLA et al, 2004b; AMENDOLA et al., 2005a; GATTES et al., 1999; MOLLO NETO, et al 2005; NAKAMURA et al., 2002; NÄÄS et al, 2004; OLIVEIRA et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2005; FERREIRA, et al 2006; YANAGI JUNIOR, et al, 2006;) que comprovam a eficácia do uso dessa ferramenta em seus estudos de ambiência e de bem-estar animal.

### **3.3.2.2. Aplicação da lógica Fuzzy nos trabalhos desenvolvidos**

A utilização das ferramentas de avaliação na área de produção animal, principalmente na avaliação de parâmetros de conforto térmico, fisiológicos, produtivos e comportamentais, vem crescendo gradativamente com a evolução da modelagem matemática. Nesse sentido as principais contribuições dos nossos trabalhos são recentes, ou seja, a partir de 2004, e vêm seguindo a tendência dos trabalhos desenvolvidos com a utilização dos diferentes fatores que influenciam a produção. Nessa particularidade, a lógica *fuzzy* é empregada juntamente com a participação ativa de especialistas na definição das variáveis lingüísticas de entrada, definindo toda a classificação *fuzzy*.

De acordo com AMENDOLA et al. (2005B), a estrutura básica de um sistema que segue as regras *Fuzzy* inclui quatro componentes principais:

- 1) um *fuzzificador*, que traduz a informação de entrada em Conjuntos *Fuzzy*. A cada variável de entrada, são atribuídos termos lingüísticos, que são os

- estados da variável, e cada termo lingüístico é associado a um Conjunto *Fuzzy*, traduzido por uma função de pertinência;
- 2) uma base de conhecimento, que contém um conjunto de regras *Fuzzy* (conhecido como base de regras) e um conjunto de funções de pertinência, conhecido como base de dados;
  - 3) um método de inferência, que aplica um raciocínio *Fuzzy* para obter uma saída *Fuzzy*;
  - 4) um *defuzzificador*, que traduz o valor da variável lingüística de saída, inferida pelas regras *Fuzzy*, em um valor numérico.

Em nossas pesquisas, a participação restringiu-se aos projetos envolvendo a suinocultura e a avicultura de postura, sendo possível a aplicação desses sistemas inteligentes de tomada de decisões, para o estudo de padrões de conforto e a predição dos índices zootécnicos.

#### **a) Na Suinocultura**

Por meio da lógica *fuzzy*, foi possível apresentar um tratamento matemático às variáveis de cunho subjetivo e “nebuloso”, na avaliação de matrizes gestantes, em relação ao tipo de confinamento a que estavam submetidas<sup>36</sup>. Nesse caso, considerou-se que a metodologia utilizada foi uma ferramenta valiosa para o condicionamento de ambientes de criação para matrizes suínas.

O uso da lógica *fuzzy* na avaliação do conforto animal permite que sejam analisadas conjuntamente variáveis quantitativas (entradas) e qualitativas (saídas), possibilitando que se obtenha o dinamismo necessário.

Para todo o sistema, foi necessária a adoção de um método de mensuração qualitativa, com o objetivo de manter uma avaliação sistemática entre a oferta e a demanda do ambiente. Dessa forma, foram consideradas as classificações da condição do sistema de criação como muito bom (A), bom (B), regular (C) e ruim (D).

---

<sup>36</sup>SILVA, I.J.O.; Produção industrial de suínos e o uso da tecnologia da informação no estudo do ambiente bioclimático na fase de gestação e maternidade; FAPESP, Processo nº.: 2004/11074-6.

De acordo com os interesses no projeto estudado, definiu-se a matriz oferta, caracterizando as variáveis independentes (variáveis meteorológicas, ambientais, fisiológicas e comportamentais) por termos lingüísticos apropriados (muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo).

As variáveis de entrada para os dados meteorológicos foram os intervalos de temperatura (°C) e a umidade relativa do ar (%), de acordo com as condições de conforto para matrizes gestantes. Todas as classificações foram desenvolvidas de acordo com as condições-limite verificadas no estudo e com base nos trabalhos de ESMAY, (1982); HAHN, (1987); NIENABER et al. (1987); NOBLET, et al. (1989); POMAR et al. (1991); como consta na tabela 04.

Tabela 04: Classificação do estado de conforto térmico como função da temperatura (°C) e de umidade relativa do ar (%), PANDORFI et al (2005)<sup>37</sup>.

UR%	Temperatura (°C)				
	<12	12-21	21-24	24-28	>29
<70	muito bom	muito bom	bom	regular	ruim
70-80	bom	muito bom	bom	regular	ruim
>80	bom	bom	regular	ruim	ruim

Realizou-se, também uma correlação entre as variáveis temperatura (°C) e amônia (ppm) a definição das variáveis lingüísticas, caracterizada pela sensação de conforto das matrizes, foi baseada nos resultados encontrados no estudo e em trabalhos desenvolvidos por ESMAY (1982); NIENABER et al. (1987); POMAR et al. (1991); CIGR (1994) e DONHAM (1999), conforme apresentado na tabela 05.

<sup>37</sup> PANDORFI, H. Comportamento bioclimático de matrizes suínas em gestação e o uso de sistemas de inteligência artificial na caracterização do ambiente produtivo: suinocultura de precisão. **Tese**(Física do Ambiente Agrícola). ESALQ/USP. 140p.2005.

Tabela 05: Classificação do estado de conforto térmico como função da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e a concentração de amônia ( $\text{NH}_3$ ), PANDORFI et al (2005).

	$\text{NH}_3$ (ppm)		Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )			
	<15	15-20	20-25	25-30	>30	
<1	muito bom	muito bom	bom	regular	ruim	
1-5	muito bom	muito bom	bom	regular	ruim	
5-10	bom	bom	regular	ruim	ruim	
>10	regular	regular	regular	ruim	ruim	

Utilizando as regras para a avaliação fisiológica, consideraram-se as variáveis independentes da temperatura e da taxa respiratória, definindo o termo dependente pela sensação de conforto das matrizes. As classificações foram formuladas pela organização da base de dados, geradas e apoiadas na literatura, OLIVEIRA et al. (1997); TAVARES et al. (1999); HANNAS et al. (1999) com o objetivo de obter as informações da tabela 06.

Tabela 06: Classificação do estado de conforto térmico, como função da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da taxa respiratória ( $\text{mov. min}^{-1}$ ), PANDORFI et al (2005).

	Taxa respiratória ( $\text{mov. min}^{-1}$ )		Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )			
	<15	15-20	20-25	25-30	>30	
<30	muito bom	muito bom	bom	regular	ruim	
30-50	muito bom	muito bom	bom	ruim	ruim	
50-70	regular	bom	regular	ruim	ruim	
>70	ruim	regular	ruim	ruim	ruim	

Da mesma forma, associou-se a quantidade de calor existente no ar, como um indicativo de conforto, definindo-se os limites entre a entalpia ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ ) e inatividade animal, como base para mais uma simulação. De acordo com os trabalhos de STOLBA et al. (1983); CRONIN & WIEPKEMA (1984); SILVA, (1999); SCHOUTEN et al. (2000), definiram-se as classificações que integraram sua base de regra (tabela 07).

Tabela 07: Classificação do estado de conforto térmico, como função da entalpia e da inatividade animal, PANDORFI et al (2005).

Os trabalhos Inatividade (%)	Entalpia (kJ.kg <sup>-1</sup> )			
	<60	60-70	70-80	>80
<15	muito bom	muito bom	bom	regular
15-45	bom	bom	regular	ruim
45-65	regular	regular	ruim	ruim
>65	ruim	ruim	ruim	ruim

Adotou-se o método de Mandani, como método de inferência ou fuzzificação, que combina os graus de pertinência de cada um dos valores de entrada, por meio do operador mínimo e que agrega as regras pelo operador máximo. Dado um conjunto de valores para a variável entrada, o sistema obtém um conjunto nebuloso, como o valor da variável de controle. (SANDRI & CORREA, 1999).

As transformações dos resultados *fuzzy* em um valor numérico foram obtidas pela defuzzificação, pelo método do centro de área (COA), em que o centro de saída é o centro de gravidade da função de distribuição de possibilidade da ação de controle (MAMDANI, 1976; AMENDOLA, et al., 2004).

O resultado direto dessas interações pode ser observado na figura 49, onde se verifica a variação não-linear da condição de conforto térmico, como função da umidade relativa e da temperatura do ar, e que foi gerada a partir da base de regras estabelecidas. Dessa forma, verifica-se que os valores de temperatura e de umidade apresentam-se como resultado da inferência de um valor, no intervalo [0, 1], o que representa o conforto térmico das matrizes suínas. Nesse contexto, foi possível obter uma saída do sistema de inferência, sob um dado ponto, para uma temperatura de 23,5°C e para umidade relativa de 65%, e após a defuzzificação, observar o índice para o conforto térmico médio de 0,319, de acordo com o gráfico de superfície.

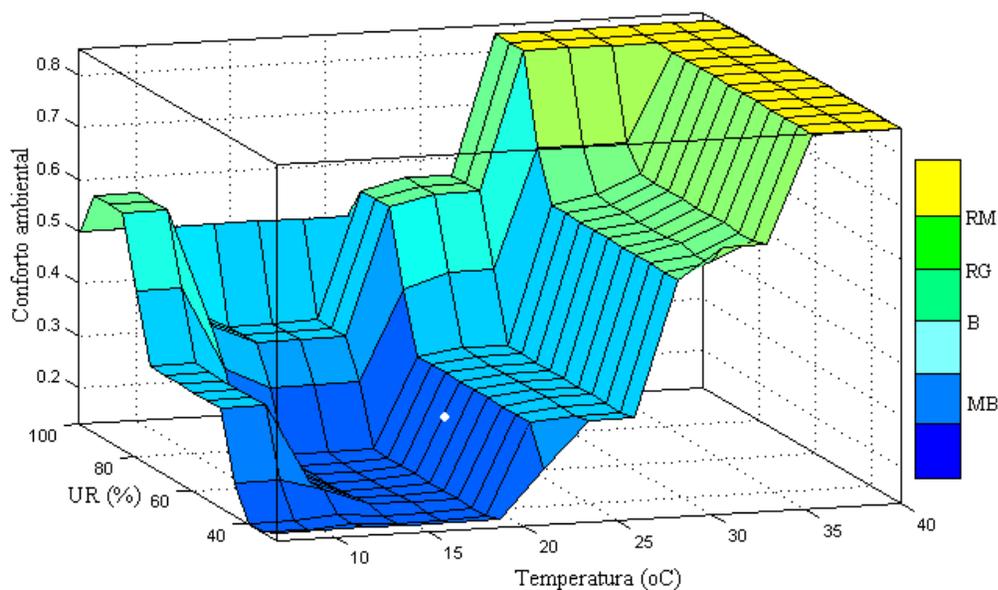


Figura 49 - Conforto ambiental como função da temperatura e da umidade relativa do ar, PANDORFI et al (2005).

Considerando-se os dados médios registrados no interior da instalação, verifica-se que o valor encontrado para a temperatura no T1 foi de 25,47 °C e a umidade relativa do ar, de 70,48% (tabela 04), permanecendo dentro da faixa limite estabelecida no sistema gerado, caracterizando-se como condição de conforto (B), não deslocando o índice de 0,319, a partir da base de regras estabelecidas, após sua verificação.

De maneira análoga, têm-se para a segunda situação, as variáveis temperatura e concentração de amônia, admitindo-se os termos lingüísticos, de acordo com as faixas evidenciadas na tabela 05. Para a variável temperatura, considerou-se o domínio [10, 40], em que foram atribuídas as denominações muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Já para a variável amônia, determinou-se o domínio [0, 15], com os termos lingüísticos muito baixo, baixo, médio e alto.

Nota-se, na figura 50, a variação não-linear da condição de conforto térmico, como função da concentração de amônia e da temperatura do ar, gerada a partir da base de regras estabelecidas; também que os valores da temperatura e da concentração de amônia apresentam-se como o resultado da inferência de um valor, no intervalo [0, 1], representando o conforto dos animais. Com base no gráfico de superfície, a partir da informação gerada, foi possível obter uma saída do sistema de inferência, sob um dado

ponto, para uma temperatura de 25°C e um teor de amônia de 7,5 ppm, possibilitando estabelecer a condição limite de conforto das fêmeas gestantes, verificando-se uma condição média para o índice encontrado de 0,501.

Verifica-se que as condições médias para a temperatura (°C) e para o teor de amônia (ppm) registrados no interior da edificação apresentaram valores da ordem de 25,47 e 3,3 respectivamente, e, de acordo com a figura 50, observa-se que, nessas condições sua classificação, comparativamente com o sistema gerado, encontra-se na faixa MB, a partir do índice de conforto ambiental de 0,336.

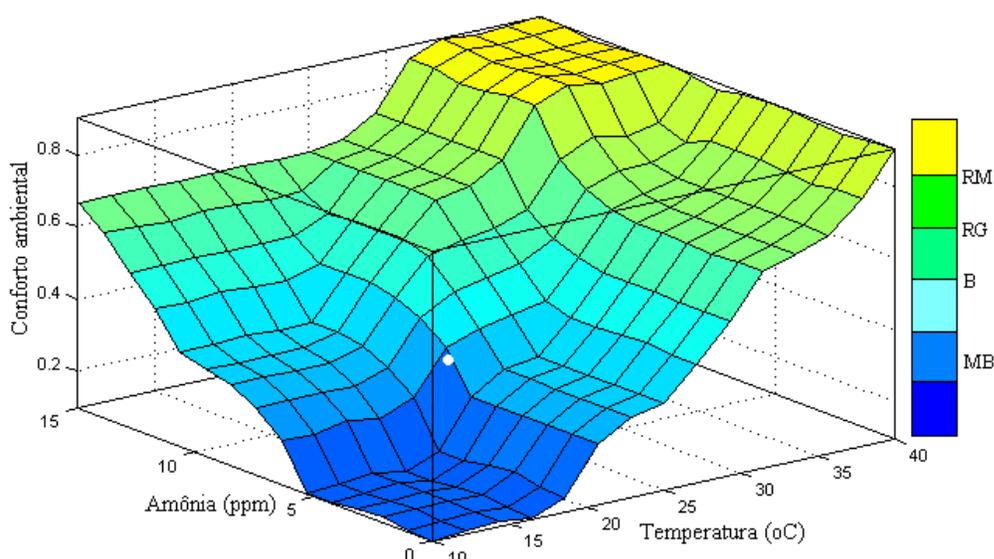


Figura 50 - Conforto ambiental como função da temperatura e da concentração de amônia, PANDORFI et al (2005).

Para as variáveis independentes, entalpia ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ ) e inatividade animal (%), definiram-se os termos lingüísticos para simulação como baixa, média, alta, muito alta e muito baixa, baixa, média, alta, para entalpia e inatividade, respectivamente. Isso posto, os valores de entalpia, sob o domínio  $[50, 90]$  representam as faixas  $<60$ ,  $60-70$ ,  $70-80$ ,  $>80$ , e, para a inatividade animal, apresentam intervalo de domínio  $[0, 70]$  e faixas que variam  $<15$ ,  $15-45$ ,  $45-65$ ,  $>65$ , de acordo com a tabela 06. Em relação aos limites do conforto térmico ambiental, criou-se um cenário com os termos muito bom, bom, regular e ruim, que caracterizam uma base de regras com as definições de pertinência dos

termos nebulosos, num domínio  $[0, 1]$ , baseando-se no conhecimento do especialista e com o apoio da literatura, conforme apresentado na mesma tabela.

Os resultados possibilitaram uma saída do sistema de inferência, determinada a partir do estabelecimento de regras, que apontam condições médias de conforto aos animais para a entalpia de  $70 \text{ kJ.kg}^{-1}$  e a inatividade, de 30%, gerados a partir da defuzzificação em que se encontra  $\alpha = 0,667$ .

Diante dos valores médios registrados no T1, para a entalpia ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ ) e a inatividade animal (%) foram de 63,47 e 30,9%, respectivamente, nos limites estabelecidos pelo sistema entre bom (B) e regular (RG).

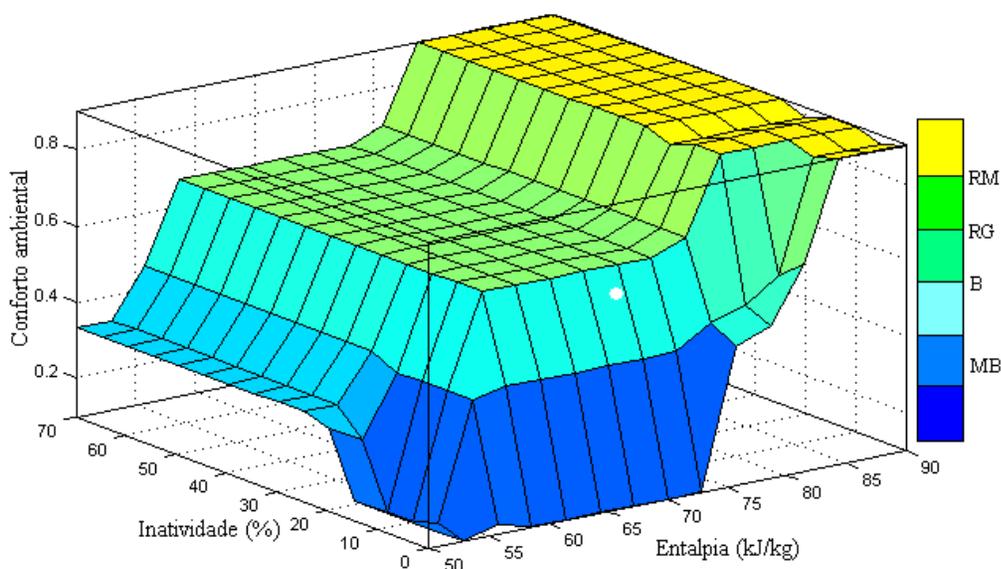


Figura 51 - Conforto ambiental como função da entalpia ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ ) e da inatividade animal (%), PANDORFI et al (2005).

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

Os controladores nebulosos são robustos e de grande adaptabilidade, incorporando conhecimento que outros sistemas nem sempre conseguem acomodar. Também são versáteis, principalmente quando o modelo físico é complexo e de difícil representação matemática.

## **b) Na Avicultura de postura**

Os trabalhos desenvolvidos na área de avicultura utilizando os sistemas inteligentes de tomadas de decisão relacionaram as questões de postura nos diferentes sistemas de criação<sup>38</sup>, bem como a determinação de uma metodologia para a análise de imagem<sup>39</sup>. Os trabalhos realizados em avaliação dos sistemas geralmente utilizam da avaliação bioclimática, relacionando-se as grandezas meteorológicas, como variáveis de conforto, os aspectos fisiológicos e comportamentais dos animais.

A teoria dos conjuntos Fuzzy foi aplicada para classificar as variáveis meteorológicas ocorridas durante a pesquisa, a fim de se caracterizarem as condições bioclimáticas oferecidas às aves, bem como os parâmetros de produção e de qualidade dos ovos e o comportamento.

Para a classificação das variáveis meteorológicas, foram considerados os valores da temperatura e da umidade relativa como variáveis independentes, constituindo as variáveis de entrada do modelo. A variável Conforto Térmico foi adotada como variável de saída (variável dependente). Em seguida, fizeram-se as partições do domínio, ou seja, as representações das variáveis numéricas como variáveis lingüísticas. Na construção dos conjuntos fuzzy, foi utilizado um modelo com cinco caracterizações lingüísticas em que se consideraram os índices de conforto térmico como muito ruim, ruim, médio, bom e muito bom, com relação aos valores das faixas de temperatura e de umidade relativa (tabela 08).

As classificações foram formuladas segundo informações em CUNNINGHAM et al. (1960); DANIEL & BALNAVE (1981); FREEMAN (1988); Guia de Manejo Hy-line W-

---

<sup>38</sup> ALVES, S.P.; **SILVA, I.J.O.**; Effects of housing on behaviour and physiologic parameters of two laying hens strain under Brazilian conditions. *Animal Behavior*, 2007.

<sup>39</sup> RODRIGUES, V.C.; BARBOSA FILHO, J.A.D.; VIEIRA, A.M.C.; ALVES, S.P.; **SILVA, I.J.O.**; Spatial distribution of laying hens in different environmental conditions by image processing and correspondence analysis. IN: **Third European Conference of Animal Livestock Precision Farmings**. Skyathos, 2007.

36 (2002); Guia de manejo Isabrown (2002); KIRUNDA et al. (2001); LEESON & SUMMERS (1997); OLIVEIRA et al. (2005) e SILVA (1998).

Tabela 08 – Classificação das variáveis meteorológicas em função da temperatura de bulbo seco T (°C) e da umidade relativa do ar UR (%)

UR %	Temperatura (°C)				
	<12	12-21	21-24	24-27	>27
<65	ruim	Médio	bom	bom	ruim
65-75	ruim	Médio	Muito bom	bom	ruim
>75	ruim	Médio	bom	bom	muito ruim

As variáveis lingüísticas ou variáveis *fuzzy* são, a princípio, os elementos usados para descrever o conhecimento e possuem esta estrutura: nome da variável e predicados que a identificam lingüisticamente. Na atribuição das funções de pertinência, para a avaliação do conforto térmico, utilizou-se a forma trapezoidal, como descrito em AMENDOLA et al. (2005b).

A figura 52 mostra o resultado gerado para a variável Conforto Térmico, a partir da base de regras estabelecida com a relação entre a temperatura de bulbo seco (°C) e a umidade relativa (%). O que pode ser observado, pela análise da figura, é a inferência de um valor  $\alpha$ , no intervalo [0,1], que representa a sensação de conforto térmico das aves durante os períodos experimentais.

Ao se avaliarem os valores de temperatura (°C) e de umidade relativa (%) ocorridos durante a pesquisa, sob a ótica dos conjuntos *Fuzzy* gerados, podem-se observar as classificações dos índices de conforto, conforme ilustrado na figura 54. Isso demonstra que, por meio das bases de regras determinadas anteriormente, é possível classificar o ambiente de produção durante a pesquisa. O modelo encontrado pode ser aplicado em um sistema de tomada de decisão para, por exemplo, acionar sistemas de climatização, principalmente quando associarmos outras variáveis respostas.

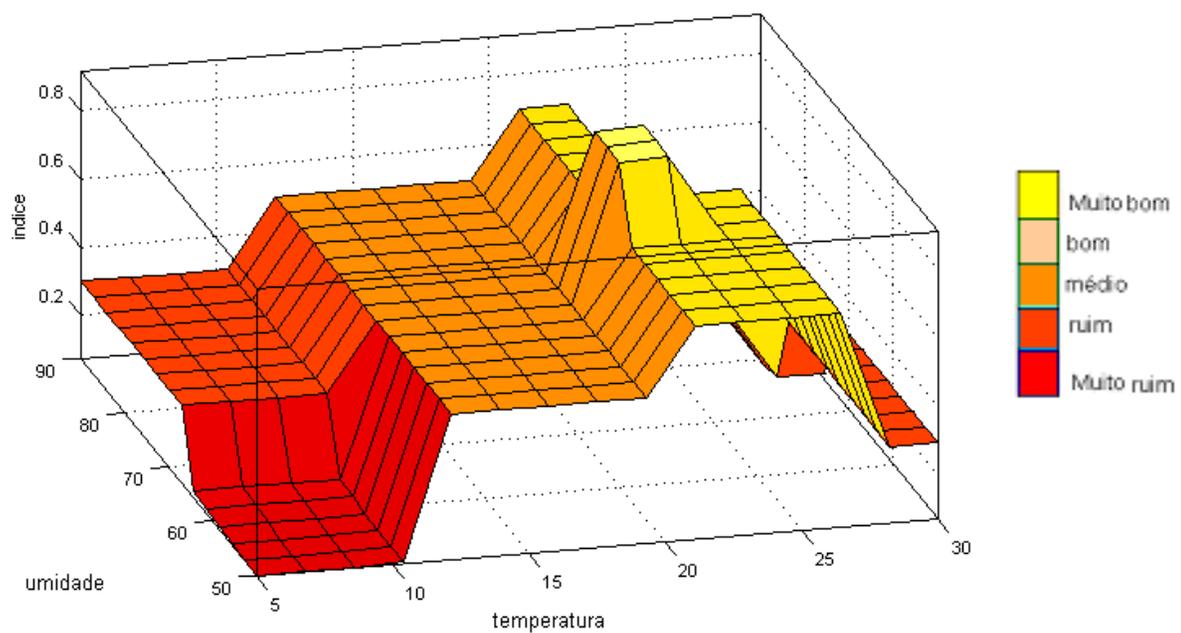


Figura 53 – Resultado do perfil de conforto associado à temperatura e à umidade relativa do ar

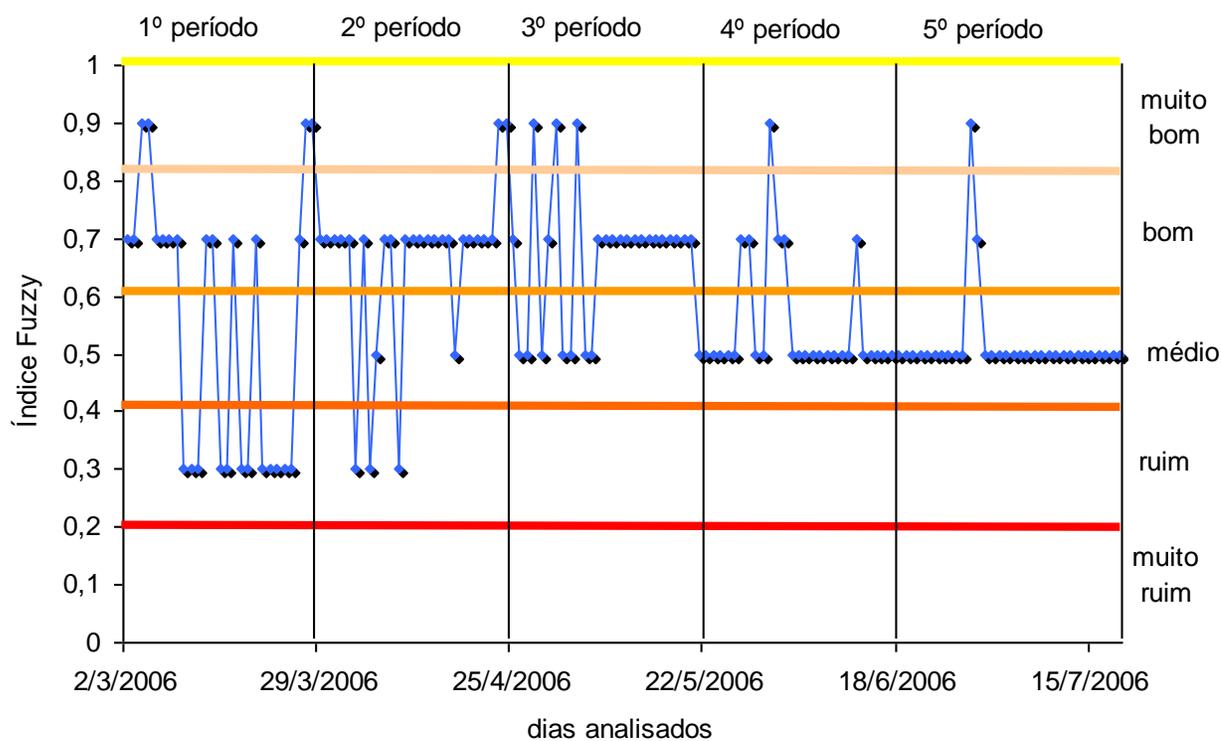


Figura 54 – Distribuições dos intervalos do índice de conforto, ao longo dos períodos experimentais.

Assim, pode ser notado que somente no 1º e 2º períodos experimentais, ocorreram condições classificadas como "ruins" pelo índice de conforto para as aves. Da mesma forma, pôde ser observado que a maioria dos períodos se encontrou dentro dos intervalos de índice de conforto classificados como médio e bom.

A lógica *fuzzy* foi utilizada para a caracterização de comportamentos das aves, o que, nessa pesquisa, ocorreu em classes de necessidades dos animais, conforme indicado por HURNIK (1995), o que resultou em comportamentos essenciais à vida: comer, beber; e comportamentos essenciais à saúde e ao conforto: explorar penas; tomar banho; empoleirar; forragear; usufruir ninho.

Como o ambiente de criação com cama é o que está sendo preconizado para a criação de aves (199/74/CE), por ser mais apto a atender às necessidades das mesmas, utilizaram-se os limites de tempo de execução, nesses sistemas de criação, como padrão normal para as aves. Para tanto, foram avaliados estudos realizados por diversos autores (BARBOSA FILHO, 2004; BAREHAN, 1976; MENCH et al., 1986; MOLLENHORST, 2005; RUDKIN; STWART, 2003) sobre comportamento de aves em ambientes com cama. Com base nesses trabalhos, estipulou-se, para cada comportamento, uma faixa-limite de porcentagem média de tempo considerado como padrão. Posteriormente, esses comportamentos foram separados nas categorias propostas por HURNIK (1995).

Na tabela 09, são apresentados os valores (em porcentagem) do tempo médio padrão para cada comportamento.

Assim, considerou-se que os comportamentos que visam ao atendimento das necessidades essenciais das aves (comer e beber) devem ocupar, em média, de 20 a 32% de seu tempo. Da mesma forma, o tempo de realização de comportamentos essenciais à saúde e conforto deve situar-se entre 30 e 65%.

Tabela 09 – Classificação dos comportamentos e respectivos valores padrão para os percentuais médios de tempo de realização

<b>Necessidades</b>	<b>Comportamento</b>	<b>Porcentagem de tempo</b>	<b>Total da categoria</b>
Essenciais à vida	Comendo	20-27%	20-32%
	Bebendo	1-5%	
Essenciais à saúde e ao conforto	Explorar penas	10-15	30-65
	Banhar-se na areia	2-8	
	Empoleirar	3-10	
	Forragear	10-20	
	Usufruir ninho	5-12	

É importante ressaltar que a soma total do tempo das duas categorias de comportamento não deve, necessariamente, totalizar 100, uma vez que outros comportamentos não listados podem ocorrer, tais como as bicagens (agressivas e não agressivas), as bicagens de objeto, “andar” ou “ficar parada”.

Baseando-se nesses intervalos de valores propostos para os comportamentos essenciais à vida, e à saúde e ao conforto, foram adotadas as seguintes regras, quadro

1:

<b>Atendimento das necessidades essenciais à vida</b>	
<b>% tempo</b>	<b>Categorização</b>
>32	Muito Ruim (excesso) – o tempo dispensado nessas atividades excede o necessário, podendo comprometer o tempo livre para as demais necessidades.
26 -32	Ruim – indica que a ave passa muito tempo em comportamento alimentar ou bebendo, o que pode ser resultado de uma frustração, dificuldade na obtenção do alimento ou de satisfação.
23-26	Bom – indica os valores esperados para este comportamento, considerando as variações das condições do ambiente de criação.
20-23	Médio – faixa contendo o limite mínimo de tempo necessário ao atendimento das atividades.
<20	Ruim – tempo considerado pouco para o atendimento das necessidades essenciais à vida, podendo comprometer a produtividade do animal.

	<b>Atendimento das necessidades essenciais à saúde e ao conforto</b>
>65	Bom – Limite de porcentagem de tempo considerado bom, permitindo sobra de tempo para os comportamentos essenciais à vida; o excesso acima desta faixa pode limitar o tempo das atividades essenciais à vida.
50-65	Médio – faixa contendo o limite mínimo de tempo necessário ao atendimento das atividades.
30-50	Ruim – Faixa de tempo limitada demais para o atendimento às necessidades de movimentação e para a execução das atividades consideradas importantes ou essenciais à saúde e ao conforto.
<30	Muito ruim – tempo insuficiente para o atendimento de mais que uma atividade/necessidade; O animal pode estar se mostrando prostrado ou em inatividade, o que é um reflexo de mal-estar.

Quadro 1 – Classificações dos intervalos de comportamentos que visam às necessidades essenciais à vida e ao conforto

Baseando-se nessas proposições, as seguintes inferências foram adotadas (tabela 10) para a obter a classificação das condições de bem-estar das aves:

Tabela 10: Classificações das variáveis de comportamentos

<b>Essenciais à vida</b>	<b>Essenciais ao conforto</b>			
	<30%	30-50%	50 – 65%	> 65%
>32%	Ruim	Médio	Bom	Ruim
26 – 32%	Médio	Bom	Bom	Bom
23 – 26%	Médio	Médio	Bom	Médio
20 – 23%	Ruim	Médio	Médio	Ruim
< 20%	Muito ruim	Ruim	Ruim	Muito ruim

Com base nas variáveis lingüísticas de cada problema, foi construído um sistema de inferência *Fuzzy* (método de Mandani), de acordo com um conjunto de regras que descrevem as relações entre as variáveis independentes e a variável dependente do mesmo problema.

Para a caracterização dos comportamentos, o objetivo foi a obtenção de um índice que determinasse as condições de bem-estar das aves por meio da porcentagem média de tempo empreendido nos comportamentos considerados essenciais à vida e ao conforto. Assim, o que pode ser observado é a inferência de um valor  $\alpha$ , no intervalo  $[0,10]$  que representa o índice "condições de bem-estar".

Na figura 55, é apresentado o gráfico de superfície gerado para a saída do sistema a partir da base de regras estabelecidas para o índice "condições de bem-estar". O eixo vertical é a variável de saída "condições de bem-estar", enquanto, em cada eixo horizontal, estão as porcentagens de tempo nos comportamentos essenciais à vida, à saúde e ao conforto.

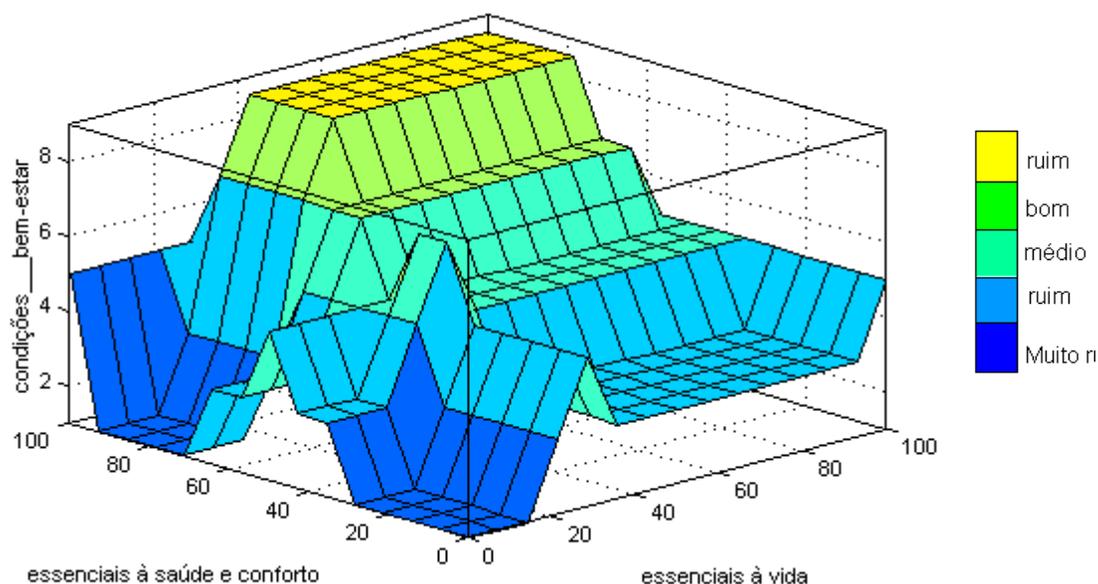


Figura 55 - Gráfico de superfície com o índice "condições de bem-estar".

Na tabela 11 apresentam-se as médias das variáveis observadas (Comportamentos essenciais à vida e ao conforto) e os respectivos índices *Fuzzy* atribuídos.

Tabela 11 - Valores do Índice *Fuzzy* "condições de bem-estar", obtido pelos diferentes sistemas de criação estudados.

Tratamentos	Essenciais à vida	Essenciais à saúde e ao conforto	Índice Fuzzy	Caracterização
Hy-Line W-36 gaiola	51	16	3	Ruim
Hy-Line W-36 cama	27	55	7	Bom
Isabrown gaiola	41	16	3	Ruim
Isabrown cama	20	42	5	Médio

Para ambas as linhagens, o índice calculado para as condições de bem-estar foi considerado ruim no sistema de gaiolas. Já no sistema de criação em cama, o índice para as condições de conforto foi considerado "bom" para a linhagem Hy-Line W-36, enquanto para a linhagem Isabrown, o índice indicou condições médias de bem-estar. Devido aos padrões determinados para as avaliações desse índice se basearem nos intervalos de tempo observados para aves criadas em sistema de criação, em cama, já era de se esperar que, na comparação entre os sistemas de criação fossem observadas melhores condições para as aves criadas em cama.

Os resultados fornecidos pelas avaliações de parâmetros quanti-qualitativos e de comportamentos permitem observar que as condições de bem-estar, baseadas na liberdade de expressão de comportamentos, não necessariamente refletem em melhores índices produtivos ou maior qualidade do produto final, no caso, ovos.

A utilização da modelagem *Fuzzy*, como ferramenta de auxílio nas avaliações de alguns parâmetros de produção e de qualidade de ovos e de comportamentos objetivou transformar essas observações em modelos matemáticos. Dessa forma, a lógica *Fuzzy* ofereceu a vantagem de estreitar a relação entre a descrição lingüística e o resultado matemático, o que pode ser usado para verificar a validade das observações realizadas.

Com relação ao comportamento dos animais, há pelo menos duas razões para empregar a lógica *Fuzzy* e os conjuntos *Fuzzy*. A primeira é que muitas ações dos animais não estão sujeitas à lei do tudo ou nada. O comportamento dos animais por si é "*Fuzzy*". A segunda razão é que as análises do comportamento dos animais, muitas vezes, fornecem uma descrição lingüística do que foi observado ou interpretado, o que torna a lógica *Fuzzy* adequada à etologia.

Como a avaliação do bem-estar depende da análise de fatores variados (BROOM, 1988, 1991), é necessária a derivação de modelos matemáticos adequados, de uma maneira sistemática, para o estudo desses parâmetros. Os modelos resultantes podem ser utilizados para analisar, simular e testar as diferentes condições de bem-estar oferecidas por um sistema de criação.

As análises avaliadas do presente trabalho poderiam ser realizadas por outros meios, que não a lógica *fuzzy*. Porém a aplicação dessa ferramenta fornece um modelo de fácil interpretação. Além disso, os sistemas especialistas *fuzzy* aqui aplicados

permitiram a integração do conhecimento científico de várias pesquisas e puderam ser utilizados para auxiliar a entender os comportamentos das aves. Outra vantagem a se observar é a possibilidade de simples adaptação por meio de mudanças de regras e de funções de pertinência. Assim, vale destacar que novas regras podem ser facilmente integradas ao sistema, quando disponibilizadas por um especialista na área de estudo.

Esses estudos, tanto os na suinocultura como na avicultura, demonstraram que o uso da lógica fuzzy é importante para a modelagem de condições de avaliação do comportamento animal e de suas interações com o meio (ambiência) e com os fatores de produção.

### **3.3.3. Redes neurais artificiais**

ROSENBLATT, já em 1958, desenvolveu um modelo computacional probabilístico para descrever a organização e o estoque de informação no cérebro humano, o qual batizou de *Perceptron*, na verdade, um modelo de rede neural artificial.

As redes neurais foram inspiradas na estrutura e na função de neurônios biológicos. Redes neurais aprendem com a interação de padrões de exemplo, sem requererem *a priori* um conhecimento das relações entre as variáveis sob investigação. O neurônio recebe uma ou mais entradas e transforma a soma daquelas entradas em um valor de saída, o qual é transferido para outros neurônios. A rede neural artificial é um conjunto de unidades processadoras (ou nódulos), que simulam neurônios biológicos e são interconectados por um conjunto de pesos (análogo às conexões sinápticas no sistema nervoso), o qual permite tanto processamento serial quanto paralelo de informação através da rede (ASTION & WILDING, 1992; ROUSH et al., 1996; XIN, 1999). Os “neurônios” da rede podem receber entradas excitatórias ou inibitórias de outros neurônios (FORSSTROM & DALTON, 1995) e produzem uma saída, que, geralmente, é uma função não linear da entrada da rede (ASTION & WILDING, 1992). Em contraste com muitos sistemas especialistas, as redes neurais artificiais não dependem de algoritmos pré-definidos (LEE et al., 1999).

Redes Neurais Artificiais (RNAs), ou simplesmente “Redes Neurais”, são modelos de processamento serial ou distribuído paralelamente, procurando alcançar

boas performances via interconexão de elementos computacionais simples. Os modelos de redes neurais têm grande potencial de aplicação na produção animal, em que se faz necessária uma imensa gama de dados, possibilitando a compreensão das relações entre o ambiente e a exploração agropecuária. Apesar de desenvolver um programa de instruções seqüenciais, os modelos de RNAs exploram muitas hipóteses simultaneamente, usando redes paralelas, compostas de muitos elementos conectados por ligações de variáveis pesos (KOVÁCS, 1996).

Fenômenos complexos ou aqueles que envolvem variáveis conhecidas como causalmente dependentes, mas cuja dependência está muito além de uma simples relação linear ou não-linear, têm sido objeto para a aplicação e o desenvolvimento de modelos com RNAs. Redes neurais, mesmo que implementadas com sucesso, permitem apenas simular ou emular o fenômeno estudado, não oferecendo, por si só, a possibilidade de se simplificar, de generalizar ou de reduzir sua teoria. Nesse sentido, podem ser consideradas como uma ferramenta que funciona, mas não se sabe por quê (KOVÁCS, 1996).

FORSSTRÖM & DALTON (1995) afirmaram que, à medida que o aprendizado ocorre, o erro entre a saída da rede e a saída desejada diminui. Então, o conhecimento, o qual a rede aprende, está codificado nos pesos das conexões entre neurônios. Devido ao fato de tal conhecimento estar distribuído através dos pesos, é quase impossível interpretar o conhecimento, o qual foi aprendido por qualquer rede de retro propagação. Este é o motivo pelo qual as RNAs são, freqüentemente, chamadas de "caixas pretas". Elas aprendem a calcular uma saída corretamente, a partir de um padrão de entrada, mas raramente revelam o conhecimento que está por trás dos seus julgamentos.

O modelo matemático de um neurônio artificial foi primeiramente idealizado pelos pesquisadores W. S. MCCULLOCH E W. H. PITTS no ano de 1943, (ZURADA, 1992). Compõe-se, basicamente, de conexões e pesos de entrada, emulando os dendritos e sinapses, de uma função de mapeamento, emulando o corpo celular, e de uma saída emulando o axônio, conforme exemplificado na figura 56.

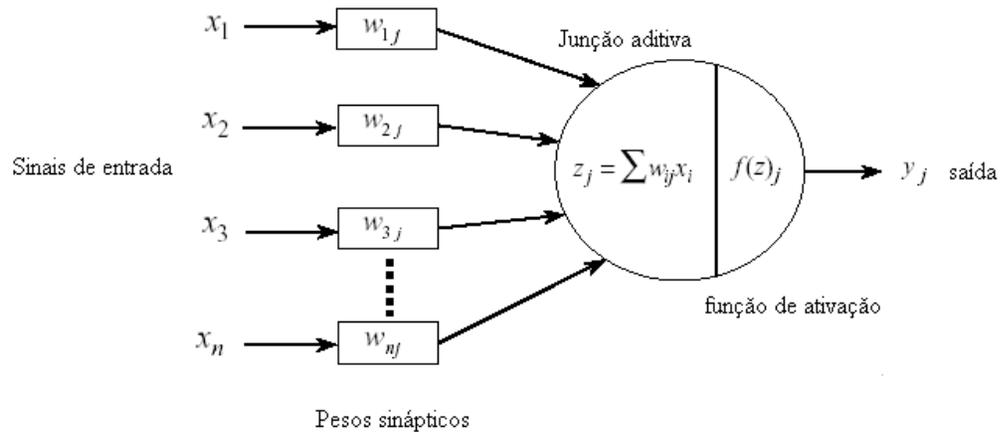


Figura 56 - Modelo genérico do neurônio artificial

As principais vantagens da utilização de uma RNA são: tolerância à falhas; aplicações em tempo real; alta capacidade de auto-adaptação; capacidade de resolver problemas práticos, sem a necessidade da definição de listas de regras ou de modelos precisos. Por outro lado, os principais pontos negativos são: conhecimento aprendido não pode ser expresso em regras, ou seja, não existe uma equação inteligível que possa ser mostrada; a validação da rede é mais difícil do que em estatística convencional; as redes neurais precisam de muitos exemplos para serem adequadamente treinadas e validadas.

As redes neurais artificiais oferecem melhores abordagens para problemas que requeiram: reconhecimentos de padrões; classificação de padrões; associação de padrões; identificação; aproximação de funções e aprendizado. Dentre as principais áreas de aplicação, podem-se citar: áreas onde é difícil criar modelos precisos da realidade e problemas com freqüentes mudanças de ambiente (HAYKIN, 2001).

### 3.3.3.1. Utilização de redes neurais artificiais em outras áreas

Há muito tempo, redes neurais são usadas com o objetivo de classificar e de reconhecer padrões: reconhecer e gerar fala; prever índices financeiros, tais como taxas de câmbio de moedas; localizar a origem de pontos no radar; otimizar processos

químicos; reconhecer alvos e detectar minas bélicas; identificar células cancerosas; reconhecer anormalidades cromossômicas; detectar fibrilação ventricular; prever trajetórias de reentrada de naves espaciais; reconhecer automaticamente caracteres escritos a mão entre outros (CHENG & TITTERINGTON, 1994).

Originalmente usadas na indústria militar, as redes neurais artificiais têm seu uso crescente em bancos, principalmente quando se fala de cartões de crédito e, especificamente, de comércio eletrônico (via internet), como método para evitar fraudes eletrônicas em tais operações (O'SULLIVAN, 1999; ESTOCK, 1999). As redes neurais reconhecem padrões específicos de comportamento de gastos do proprietário do cartão de crédito, aprendem a partir de suas experiências passadas e podem ser re-treinadas, adaptando-se a uma situação específica.

Algumas das mais variadas aplicações podem ser citadas do uso das RNAs em nosso dia-a-dia: UYSAL & EL ROUBI (1999) compararam o uso de redes neurais artificiais e a regressão múltipla para a análise de demanda em turismo. Em seu estudo, os resultados revelaram que o uso de redes neurais artificiais tem melhores estimativas em termos de predição e acurácia. GOODMAN (1999) também comparou redes neurais artificiais a métodos estatísticos e concluiu que um novo caminho promissor de pesquisa é o desenvolvimento de modelos biologicamente reais que possuam as vantagens das atuais RNAs, adicionadas de habilidades de reconhecimento de padrões.

Na medicina humana, as redes neurais artificiais são amplamente utilizadas. CROSS et al. (1995) afirmaram que há campo para o desenvolvimento de ferramentas decisórias, as quais poderiam ajudar médicos menos experientes, fornecendo-lhes conhecimento alicerçado em um grande número de casos, formando uma "memória" de casos, os quais não seriam afetados pela troca de pessoal. O mecanismo para a tomada de decisão, em tais suportes diagnósticos, pode ser qualquer forma de sistema estatístico, ou baseado em regras que forneçam a melhor solução para um problema particular. Os autores exploram o assunto, sugerindo que redes neurais terão um papel importante no suporte decisório num futuro próximo. Já FORSSTROM & DALTON (1995) abordaram o uso de redes neurais artificiais como ferramentas em medicina

clínica, enfatizando o importante papel do método em análise por imagens, em processamento de sinais e em medicina laboratorial.

DYBOWSHI & GANT (1995) também exploraram o uso de redes neurais artificiais em patologia e em laboratórios médicos. Segundo eles, a tecnologia de rede neural é perfeitamente ajustada à natureza, freqüentemente complexa, de amostras patológicas.

No trabalho de CALLAN ET AL. (1999), foram aplicadas redes neurais para avaliar testes audiológicos usados para prever patologia retrococlear, pesando diferentemente os resultados da bateria de testes.

KIRBY ET AL. (1999) realizaram estudo retrospectivo, analisando uma rede neural para substituir a polissonografia no diagnóstico de apnéia obstrutiva do sono. Concluíram que a rede neural, desde que treinada apropriadamente, tem a habilidade de classificar acuradamente, a partir de dados clínicos, pacientes com a doença.

### **3.3.3.2.Utilização de modelos matemáticos na produção animal**

Os modelos matemáticos ganham espaço cada vez maior na área biológica, para descrever processos. Inicialmente com modelos estatísticos com análises de regressão simples, logísticas, multivariadas, modelos estocásticos, que foram utilizados para prever e determinar situações das mais diversas, sejam produtivas, fisiológicas sejam mesmo comportamentais, SILVA, (1998); FIALHO (1999), FIALHO & LEDUR (2000<sup>A</sup> E 2000B); IVEY (1999); ROBEY ET AL. (2000); SOARES (1995); SALLE ET AL. (1998<sup>A</sup>, 1998D E 1999C); SALLE ET AL. (1998C E 1999B); SALLE & SILVA (2000);

Dentre essas pesquisas, muitas partiram para o desenvolvimento de softwares aplicativos ao produtor, de uso direto no planejamento e no diagnóstico de produção.

### **3.3.3.3.Utilização de redes neurais artificiais na produção animal, na ambiência e no bem-estar dos animais**

Com o avanço da informática, a utilização de sistemas computacionais para a predição de eventos biológicos, com base em históricos individualizados de produção,

ganha cada vez mais importância no gerenciamento agrícola, destacando-se como uma importante ferramenta na tomada de decisão.

Na literatura mundial, são poucos os trabalhos de pesquisa com a utilização de RNAs na produção de aves e suínos.

Os primeiros relatos ocorreram em 1996; ROUSH e colaboradores estudaram a predição de ascite em frangos de corte, através de redes neurais artificiais, realizando comparação entre os resultados de diagnósticos de laboratório e a incidência predita pela rede neural. Segundo os autores, a rede neural identificou corretamente a presença ou a ausência de ascite. Essa é uma alternativa para analisar dados binários (além da regressão logística, proposta posteriormente por KIRBY ET AL., 1997).

ROUSH et al. (1997) tornaram a utilizar a rede neural para predição probabilística de ascite em frangos de corte. Uma rede neural probabilística (PNN: “probabilistic neural network”) foi treinada para prever ascite, baseada em fatores minimamente invasivos, ou seja, fatores fisiológicos que não necessitam da morte da ave. Uma PNN é uma rede neural artificial supervisionada e com três camadas, que classifica padrões de entrada (exemplo: dados fisiológicos) em categorias específicas de saída (exemplo: ascite ou não ascite). A conclusão foi que o uso dos modelos desenvolvidos pode intensificar o diagnóstico de ascite em frangos de corte. Os resultados podem ser úteis na escolha e no desenvolvimento de linhagens de frangos de corte que não tenham propensão à ascite.

ROUSH E CRAVENER (1997) compararam dois tipos de redes neurais artificiais (retropropagação e rede neural de regressão geral) para prever os níveis de aminoácidos em ingredientes alimentares. Além disso, os autores compararam tais redes neurais às técnicas de análise de regressão. As redes neurais artificiais tiveram um melhor desempenho do que a análise de regressão, sendo que naquele caso, a rede neural de regressão geral superou a de retropropagação.

Na área de ambiência e de bem-estar animal, os primeiros relatos, são de XIN (1999), que desenvolveu um sistema automatizado de análise de imagens, que fornece conforto térmico para suínos e que faz os ajustes ambientais apropriados para melhorar o bem-estar animal e a eficiência produtiva (na forma de um sensor biológico integrado). Em um primeiro momento, o autor examinou a viabilidade de classificar o

conforto térmico de suínos jovens através de análise por rede neural, a partir de suas imagens posturais. Foi incluída uma pesquisa das imagens de comportamento postural como entrada para classificar o estado de conforto térmico correspondente, como frio, confortável ou quente.

#### **3.3.3.4. Aplicação das Redes Neurais Artificiais nos trabalhos desenvolvidos**

O trabalho desenvolvido nessa área, avaliou os comportamentos de porcas gestantes, quando criadas em sistemas de baias coletivas e individuais, temática relacionada ao projeto da FAPESP<sup>40</sup>. Por meio da utilização da RNA, procedeu-se a um tratamento físico, estatístico e matemático das variáveis estudadas. Considerou-se que, por essas características, a metodologia proposta consistiu em uma ferramenta valiosa para ser usada no condicionamento de ambientes de criação para matrizes suínas.

Nessa pesquisa, as variáveis que integraram a construção da rede foram: temperatura e taxa respiratória (variáveis de entrada), utilizando-se a base de dados obtidos no período experimental; peso no nascimento dos leitões e número de leitões mumificados (variáveis de saída) registradas na maternidade, referentes aos animais submetidos aos tratamentos estudados.

O modelo utilizado para desenvolver a rede neural, foi o algoritmo *backpropagation*, criado por RUMELHART, HINTON & WILLIAMS EM 1986 (MCCLELLAND, 1988; ZURADA, 1992; HAYKIN, 2001) a partir da generalização da regra de aprendizado *Widrow-Hoff*, que fora introduzida por Bernard Widrow & Marcian Hoff em 1960-1962 para redes do tipo *feedforward perceptron*.

A regra de aprendizado *Widrow-Hoff* também é conhecida como Regra Delta - LMS (minimização do erro médio quadrático), que ajusta os pesos das conexões entre os neurônios da rede, de acordo com o erro. Esta regra tem, como objetivo, encontrar um conjunto de pesos e de polarizações que minimizem a função erro.

---

<sup>40</sup>SILVA, I.J.O.; Produção industrial de suínos e o uso da tecnologia da informação no estudo do ambiente bioclimático na fase de gestação e maternidade; FAPESP, Processo n.º.: 2004/11074-6;

$$E = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^R \sum_{i=1}^S (y_{p,i}^{\wedge} - y_{p,i})^2$$

em que  $R$  = número de padrões ou vetores de entrada;  $S$  = número de neurônios de saída - dimensão do vetor de saída;  $y_{p,i}$  = saída desejada no  $i$ -ésimo neurônio, quando o  $p$ -ésimo padrão  $\hat{e}$  é apresentado;  $y_{p,i}^{\wedge}$  = saída obtida pela rede no  $i$ -ésimo neurônio, quando o  $p$ -ésimo padrão é apresentado.

A alteração dos pesos  $W_{i,j}$  da regra de *Widrow-Hoff* é calculada da seguinte maneira:

$$\Delta W_{i,j} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{i,j}}$$

em que,  $\eta$  = parâmetro da taxa de aprendizado e  $\frac{\partial E}{\partial W_{i,j}}$  é a derivada parcial do erro em relação ao peso da respectiva conexão (gradiente). A principal restrição para minimizar o erro, no sentido do gradiente descendente, é que a função de transferência do neurônio tem que ser monotônica e diferenciável em qualquer ponto.

A topologia da arquitetura da rede utilizada foi formada por uma camada de entrada, uma escondida (intermediária) de neurônios não-lineares e uma camada de saída de neurônios com função de transferência tangente sigmoideal (figura 57). Devido à grande difusão da arquitetura da rede a que esta regra de aprendizagem se aplica, é comum referir-se a ela com o nome da própria regra de aprendizagem, rede BP.

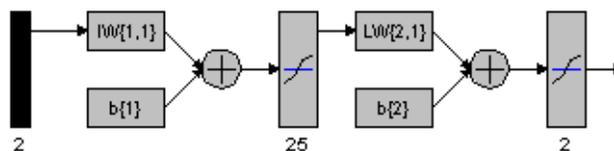


Figura 57 - Arquitetura da rede empregada no treinamento

O algoritmo BP, para um treinamento incremental, pode ser descrito pelos seguintes passos:

Passo 1 - Inicializar os pesos, as polarizações e os demais parâmetros de treinamento;

Passo 2 - Apresentar à rede um padrão de entrada do conjunto de treinamento e computar a sua saída;

Passo 3 - Calcular o erro para os neurônios da camada de saída, subtraindo a saída desejada da saída calculada;

$$e_k = (y_k - \hat{y}_k)$$

em que:

$y$  é a saída desejada e  $\hat{y}$  a saída real (saída gerada pela rede).

Passo 4 - Calcular o ajuste nos pesos da camada da saída com a fórmula:

$$\Delta w_i^o(k+1) = -\frac{\partial e_k^2}{\partial w_i^o(k+1)} = \eta \cdot (y_k - \hat{y}_k) \cdot p'(net^o(k)) \cdot a'(w_i^o(k), O_i^1(k))$$

em que:

$p$  é uma função contínua derivável, tangente hiperbólica,  $\eta$  é a taxa de aprendizagem,  $net$  é o estado de ativação e  $O_i^1$ , a entrada.

Passo 5 - Retropropagar o erro para as camadas escondidas. Como não existe uma saída desejada para os neurônios das camadas escondidas, deve-se calcular o erro destes a partir do erro dos neurônios pertencentes à camada de saída e das conexões que os interligam. Tem-se, assim, a seguinte equação, para calcular o ajuste dos pesos para a primeira camada escondida mais próxima à saída.

$$\Delta w_{j,i}^1(k+1) = -\frac{\partial e_k^2}{\partial w_{j,i}^1(k+1)} = \eta \cdot (y_k - \hat{y}_k) \cdot p'(net^o) \cdot \frac{\partial a}{\partial O_j^1(k)}(w_j^o(k), O_j^1(k)) \cdot p'(net_j^1) \cdot \frac{\partial a}{\partial w_{j,i}^1(k)}(w_{j,i}^1(k), x_i(k))$$

Passo 6 - calcular o erro acumulado da rede. Nesta etapa, deve ser verificado se o erro total sobre todos os padrões de entrada pode ser considerado desprezível, isto é, se caiu abaixo de um limiar de aceitação. Se assim for o caso, o algoritmo deve parar, caso contrário, deve-se voltar ao passo 2 e fazer uma retro-alimentação nesse treinamento.

Dessa forma, a configuração da rede BP de 3 camadas (1 de entrada, 1 escondida e 1 de saída), foi utilizada na aproximação entre as variáveis temperatura e taxa respiratória e os índices zootécnicos, peso no nascimento dos leitões e mumificados, em que a matriz de entrada foi de 27 x 2, sendo 27 observações com 2 variáveis e a matriz de saída, 27 x 2. Segundo um critério heurístico, escolheu-se a seguinte topologia: 25 neurônios para a camada escondida e 2 neurônios para a camada de saída (tabela 12).

Tabela 12. Parâmetros de treinamento utilizados para o algoritmo *backpropagation*

Parâmetros	Valor
Taxa de aprendizagem	0,1
Erro	0,005
Neurônio na camada oculta	25
Função de transferência na camada oculta	Tangente sigmoidal
Função de transferência na camada de saída	Tangente sigmoidal

Para realizar a avaliação do desempenho da rede para o teste e a validar a RNA, utilizou-se um conjunto de dados históricos da granja, utilizando-se 70% dos dados selecionados para o teste e 30%, para sua validação.

Nos trabalhos relacionados aos sistemas de criação, foi utilizada a rede neural artificial, para prever índices zootécnicos, que, no caso, se relacionaram ao peso no nascimento dos leitões e ao número de mumificados em relação ao sistema de gestação em que as matrizes foram expostas.

O critério adotado para a parada do treinamento foi definido por uma combinação de métodos, pelo erro e pelo número de ciclos (*epochs*), encerrando-se o treinamento quando um dos critérios foi atendido. Dessa forma, o treinamento foi encerrado quando houve convergência na superfície do erro médio quadrático, em que se adotou o valor de 0,005, após inúmeros ajustes em função do resultado, atingindo uma boa generalização a 524 ciclos, isto é, o número de vezes em que o conjunto de treinamento foi apresentado à rede.

O treinamento procedeu sem problemas, e a rede conseguiu convergir para o valor do erro determinado. Alguns parâmetros do algoritmo *backpropagation* utilizados para treinar esta rede, são descritos na tabela 12.

As previsões giram em torno de um valor médio capaz de simular os picos dos eventos. O modelo de previsão, portanto, consegue explicar a variação do peso no nascimento dos leitões, tendo em vista o alto valor encontrado para o coeficiente de determinação  $R^2=0,8965$  (figura 58a).

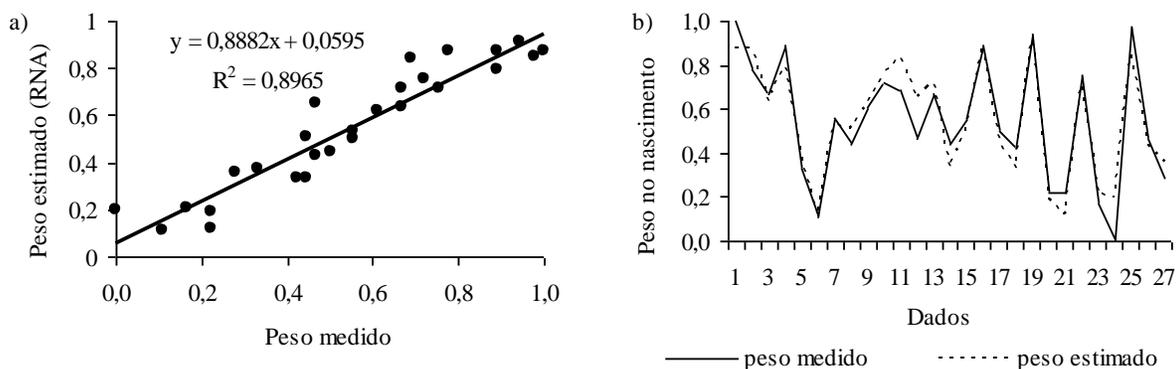


Figura 58 - Relação funcional entre os dados normalizados para o peso no nascimento dos leitões medidos e os dados normalizados para o peso no nascimento estimado pela RNA (a) e sua variação na fase de teste e da validação (b).

Como considerações gerais extraídas dos resultados dos testes, podem-se dizer que as aproximações dos valores estimados pela rede apresentaram uma ótima caracterização dos dados reais, registrados “in loco” no decorrer do período, percebendo-se somente alguns pontos isolados em que houve uma pequena tendência a subestimar valores altos ou superestimar valores baixos (figura 58b).

Os pares de entradas e saídas possibilitaram verificar a evolução do aprendizado, por meio da comparação entre a saída desejada e a real. As predições conseguem simular o número de leitões mumificados, com base nas variáveis de entrada, tendo em vista o valor encontrado para o coeficiente de determinação  $R^2=0,9508$  (figura 59a).

Esses resultados permitiram concluir que o uso de RNAs serviu para demonstrar a viabilidade da utilização da ferramenta, apresentando alta eficiência na predição dos índices zootécnicos (peso no nascimento dos leitões, número de leitões mumificados), com base nas variáveis, temperatura do ar e taxa respiratória das fêmeas gestantes, o

que nos garante uma grande confiabilidade nas predições de novos parâmetros, a partir dos dados históricos da granja.

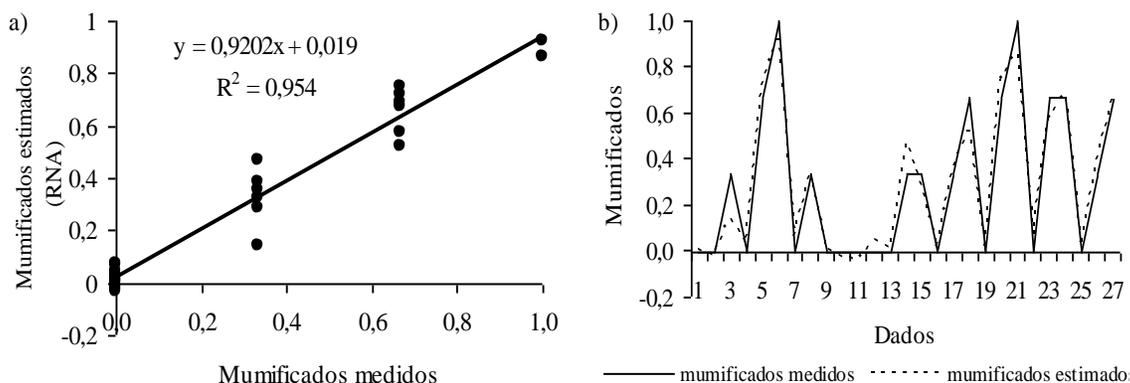


Figura 59 - Relação funcional dos dados normalizados para o número de leitões mumificados medidos, e os dados normalizados para o número de mumificados estimados pela RNA (a) e sua variação na fase de teste e de validação (b).

O sucesso das redes neurais está diretamente relacionado à sua alta versatilidade, pois existem aplicações para as mais diversas áreas, e isso faz delas uma tecnologia bastante promissora, para o desenvolvimento de aplicações na agropecuária. É importante ressaltar que outras arquiteturas de rede, ou outros parâmetros, também podem ser aplicados em situações semelhantes e que a solução proposta neste trabalho foi escolhida com o objetivo de apresentar o potencial de aplicação da ferramenta e seu bom desempenho neste tipo de problema.

### 3.3.3.4.1. Redes Neurais Artificiais Probabilísticas (PNN) e Reconhecimento de Padrões

A partir dos anos 80, sistemas especialistas como as Redes Neurais Artificiais apresentaram um grande avanço na solução de problemas de reconhecimento de padrões presentes em imagens (PERELMUTER, 1995).

O reconhecimento de objetos, por meio da Visão Computacional, tem evoluído intensamente, devido à necessidade, já retratada, quanto à automação de processos de caracterização e de classificação que fogem à percepção humana ou mesmo que demandam muito tempo e trabalho.

As Redes Neurais Artificiais (RNA) desempenham importante papel no processamento e na classificação de sinais e de imagens (HEIKKONEN, 1996) e suas aplicações estão presentes nas mais diversas áreas e atividades.

As Redes Neurais Probabilísticas (PNN) são consideradas por muitos autores de grande aplicabilidade em reconhecimento de padrões. O uso dessas redes é bastante abrangente, podendo ser aplicadas a qualquer tarefa de reconhecimento de padrões (SOLER, 2003).

Seguindo essa tendência de utilização das redes neurais artificiais, por meio do projeto apoiado pela FAPESP<sup>41</sup>, iniciaram-se os trabalhos com o objetivo de propor metodologias para uma análise de imagem, utilizando redes neurais, resultando nas publicações recentes ALVES et al (2006)<sup>42</sup> RODRIGUES et al, 2006<sup>43</sup>; 2007<sup>44</sup>, e na dissertação de mestrado de RODRIGUES (2006)<sup>45</sup>, sob a nossa orientação.

Quando os elementos, no caso, as imagens individuais das aves, que são submetidos à classificação, apresentam variações dentro da própria classe que define um padrão, o uso da densidade de probabilidade é recomendado. Com base em estratégias de decisão, apoiadas na regra de Bayes, pode-se, resumidamente, admitir que elas, auxiliam na minimização do chamado “risco esperado”, ou seja, para cada classe ou padrão que se quer encontrar, simbolizada por  $C_s$ , com  $s = 1, \dots, q$ ; existe um erro,  $\xi_s > 0$ , associado à classificação incorreta de um elemento dentro da classe, mas, por hipótese, os erros podem ser considerados iguais para cada um dos elementos dentro da classe associada.

A função da densidade de probabilidade  $f(X)$  é encontrada pela PNN, através da soma das informações de cada neurônio, por meio de treinamento da rede. Tem-se que

---

<sup>41</sup> SILVA, I.J.O.; Visão eletrônica: avaliação do comportamento bioclimático de aves poedeiras por meio de análise de imagens utilizando redes neurais – zootecnia de precisão; FAPESP, Processo n.º.: 2005/59486-3;

<sup>42</sup> ALVES, S.P.; RODRIGUES, V. C.; CONCEIÇÃO, M. N.; SILVA, I. J. O.; SOUZA, C. C., Padrões comportamentais e atividades de duas linhagens de aves poedeiras criadas em cama frente à variações meteorológicas. In: **IV Congresso Brasileiro de Biometeorologia**, 2006, Ribeirão Preto. CD-ROM - Anais do IV congresso Brasileiro de Biometeorologia. Ribeirão Preto: Apta - IZ, 2006.

<sup>43</sup> RODRIGUES, V. C.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; ALVES, S. P.; SILVA, I. J. O. Processamento de imagens: metodologia para o estudo da distribuição espacial de aves poedeiras. In: **XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA**, 2006, João Pessoa. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA. Jaboticabal, SP: SBEA - Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006.

<sup>44</sup> RODRIGUES, V.C.; BARBOSA FILHO, J.A.D.; VIEIRA, A.M.C.; ALVES, S.P.; SILVA, I.J.O.; Spatial distribution of laying hens in different environmental conditions by image processing and correspondence analysis. In: **Third European Conference of Animal Livestock Precision Farmings**. Skyathos, Greece, 2007.

<sup>45</sup> RODRIGUES, V.C. Distribuição espacial e bem estar de aves poedeiras em condições de estresse e conforto, utilizando visão computacional e inteligência artificial. Dissertação de mestrado ( Física do Ambiente Agrícola). 120p. 2006.

a rede é capaz de estimar a função densidade de probabilidade  $f(x)$  através da soma de contribuições gaussianas centradas em cada padrão de treino.

A PNN possui 4 camadas, como mostra a figura 60 que são assim definidas:

Camada de entrada, contendo os padrões a classificar, sendo o número de neurônios, nesta camada, igual à dimensão do espaço de padrões  $p$ , portanto, o vetor de entrada pode ser definido como:

$$X = [ X_1, \dots, X_p ]$$

Camada das unidades de padrões, cada neurônio representa um padrão de treino com os pesos  $W_j$  específicos:

$$W_j = [ W_{j1}, \dots, W_{jn} ]$$

considerando que  $j=1, \dots, m$ ,  $m$  é o número de padrões de treino

Camada de soma das densidades de probabilidades de cada classe, ou padrão a ser classificado;

Camada de saída responsável pela classificação de Bayes

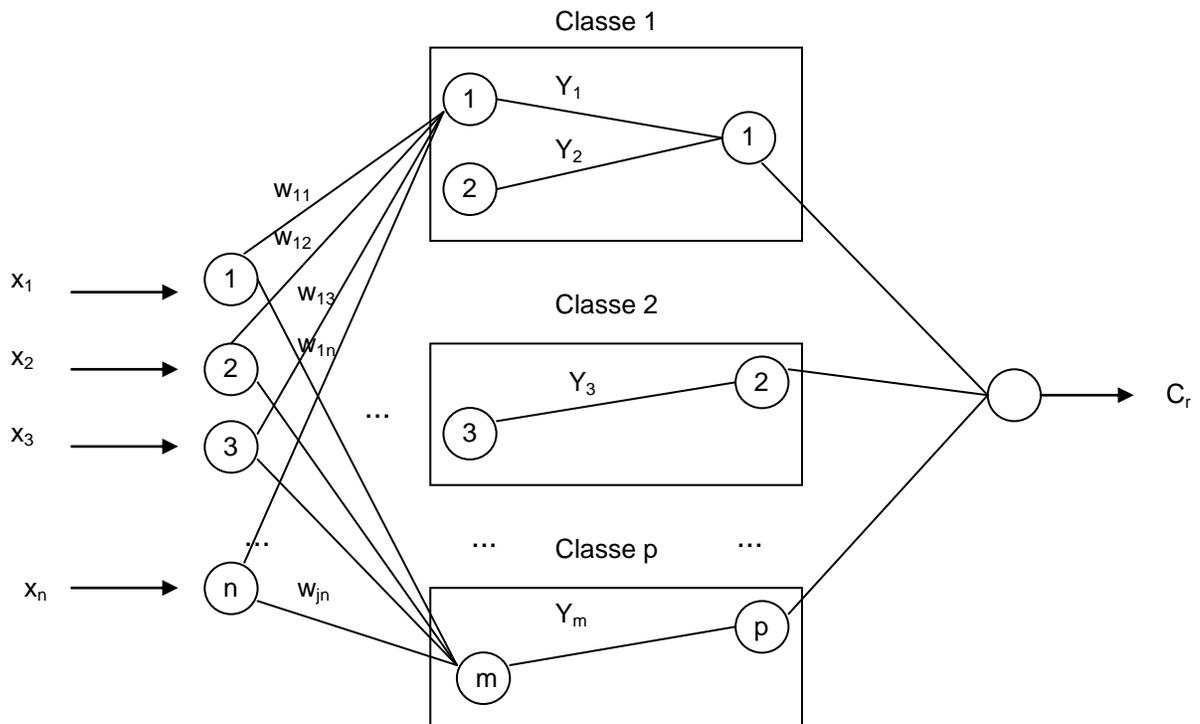


Figura 60 – Arquitetura da rede neural probabilística (adaptado de SOLER, 2003), aplicado por RODRIGUES, 2006.

Então, como fase inicial, determinaram-se os padrões de postura corpórea. O sistema de reconhecimento de padrões tem o objetivo de identificar as formas adquiridas pelos corpos das aves, em determinados comportamentos como beber, comer, estar parada, sentada, ciscando e investigando penas. O objetivo da busca por padrões de postura corpórea está relacionado à necessidade de obter informação quanto ao comportamento efetivo da ave, num dado momento de análise, pois pode haver muito tempo de permanência da ave em um determinado local, mas seu comportamento pode não retratar a necessidade de estar naquele lugar específico. Por exemplo: a ave pode apresentar-se muito tempo na área delimitada pelo comedouro, porém, pode estar parada, ou efetuando qualquer outro tipo de comportamento sem se alimentar.

Cada um desses comportamentos mostrou a possibilidade de ser corretamente classificado através de uma Rede Neural Probabilística (Probabilistic Neural Network, PNN), independente das variações ocorridas pela rotação, pela translação e pela escala das imagens. Para isso, foi utilizado o algoritmo da transformada de Fourier-Mellin (DOLL, 2004), capaz de transformar as imagens em espectros invariantes, ou seja, o tamanho dos objetos, a rotação e a translação não são informações pertinentes ao processamento, mas, sim, as formas geométricas assumidas. Depois disso, o passo foi disponibilizá-las para a entrada de dados em sistema de classificação, como as Redes Neurais Artificiais.

A análise conjunta de distribuição espacial e o reconhecimento de formas podem fornecer dados importantes para o estudo da dinâmica das aves nos dois tratamentos adotados.

Os padrões comportamentais e suas conseqüentes posturas corpóreas, que poderão ser diferenciadas por um sistema de visão computacional, baseado em Redes Neurais Artificiais, são detalhados abaixo e estão relacionados às avaliações de RUDKIN & STEWART (2003).

- \* Comendo – ave se alimentando, caracterizado pela ave com a cabeça no comedouro;
- \* Bebendo – ave ingerindo água apresenta-se bicando o bebedouro tipo Nipple;
- \* Investigando penas – ave investigando as próprias penas com o bico;

- \* Ciscando – ave em situação de exploração do seu ambiente com os pés ou o bico;
- \* Sentada – ave sentada propriamente ou em postura;
- \* Parada – ave em pé, com o corpo estendido, sem apresentar nenhum dos comportamentos anteriores;

Os comportamentos especificados foram adotados na pesquisa, por serem visualmente perceptíveis ao pesquisador. Outros comportamentos foram inseridos nos anteriores, por se tratarem de posturas corpóreas de grande semelhança, em termos de deformações geométricas. A tabela 13 mostra os comportamentos a avaliar.

Para o treinamento da Rede Neural Probabilística, foram utilizadas 1.800 imagens, escolhidas de forma a apresentar 300 imagens de cada período dos tratamentos analisados. Foi necessária a classificação visual, para o posterior uso da metodologia proposta para o reconhecimento de padrões através de sistema inteligente.

Tabela 13 – Posturas corpóreas apresentadas pelas aves e comportamentos inseridos relacionados, RODRIGUES (2006).

Postura corpórea das aves		Comportamentos inseridos
Bebendo		Bebendo
Comendo		Comendo
Investigando penas	Inv. Penas + movimento de conforto + banho de areia	
Parada	Parada + procurando o ninho + empoleirar	
Sentada	Sentada + postura	
Ciscando	Ciscando + agressividade	

Para que houvesse um efetivo treino da rede utilizada, foram fornecidos os mesmos 5 vetores de treinamento para possíveis melhorias no desempenho do sistema de classificação. Após as operações de reconhecimento de padrões, o sistema forneceu as informações resumidas nas tabelas 14 e 15.

Tabela 14 – Vetores de teste e porcentagem de acerto, RODRIGUES (2006).

Vetores de teste	Porcentagem de acerto (%)					
	Bebendo	Ciscando	Parada	Inv.Penas	Comendo	Sentada
1	65	80	60	55	75	85
2	75	75	80	75	75	80
3	65	75	75	75	80	80
4	80	70	65	75	55	75
5	50	75	80	55	85	75

A tabela 14 apresenta as classes de posturas que a rede vai reconhecer e as respectivas porcentagens de acerto na classificação das posturas nas imagens.

Verifica-se, pela tabela 14 que todos os vetores, de forma geral, apresentaram índice superior a 50% de acerto para os vetores apresentados à rede.

Percebe-se que as posturas mais bem identificadas são “sentada” e “ciscando”, pois apresentaram bom desempenho de classificação, em termos de porcentagem, ou seja, segundo NUNES (2002), a técnica de reconhecimento de bordas e algoritmos para extrair as variações das imagens (DOOL, 2004), aliada ao uso de redes neurais artificiais, pode ser considerada eficiente, como ferramenta para reconhecimento de padrões. O autor analisou a possibilidade de reconhecimentos de formas geométricas tais como triângulos, quadrados e círculos. A rede, neste caso, apresentou 100% de acerto, pois se trata de imagens que não apresentam grandes variações entre as mesmas figuras geométricas. Quanto às aves, as formas adquiridas por estas apresentaram-se muitas vezes, com grande variabilidade no mesmo padrão de postura, o que pode ter influenciado a margem de erro da RNA. A tabela 15 apresenta o resultado da classificação da RNA, para o conjunto de imagens.

Tabela 15 – Resultados da RNA treinada de acordo com valores de % de acerto, RODRIGUES (2006).

Classe	Porcentagem de acerto (%)
Bebendo	65
Ciscando	60
Inv. Penas	70
Comendo	70
Parada	75
Sentada	80

As imagens das seqüências de análise foram, então, submetidas à classificação da rede. O total de 4.320 imagens foi classificado pela rede em várias etapas para que não houvesse problemas com o tempo de processamento. As posturas apresentaram um nível de acerto razoável em torno de 65%. O erro apresentado pode ser explicado por problemas de oclusão, quando as aves estão muito próximas, dificultando o reconhecimento e classificação individual pela RNA. O fato das aves possuírem simetria entre parte posterior e inferior do corpo, também pode ser um fator de erro. Um sistema mais apurado para detecção de bordas poderá reduzir a margem de erro.

Baseando-se nos resultados apresentados, foi possível estabelecer uma classificação lingüística para indicativo de conforto em função dos comportamentos observados. Os comportamentos foram classificados tal como mostra a tabela 16, tomando como base o trabalho de HURNIK (1988). Os comportamentos foram separados em classes como essenciais à vida e comportamentos essenciais ao conforto e saúde.

Tabela 19 – Faixas de valores percentuais de postura corpórea observadas pela classificação da RNA adaptado de HURNIK (1988), por RODRIGUES (2006).

Classe	Comportamentos	Conforto (%)	Estresse (%)
Essenciais a vida	Comendo	20-44	17-29
	Bebendo	2-4	11-29
Essenciais ao conforto e saúde	Ciscando	6-12	13-29
	Inv. Penas	7-15	14-15
	Sentada	10-30	4-15
	Parada	21-29	4-12

Com base nos valores preconizados pela literatura quanto aos comportamentos analisados, têm-se condições de estabelecer padrões de conforto, que possam esclarecer algumas alterações destes nos dados observados.

Foram considerados os trabalhos de diversos autores (BARBOSA FILHO, 2004; RUDKIN e STEWART, 2003; MOLLENHOST, 1999; MENCH, 1985) sobre comportamento de aves alojadas em sistemas de criação, como o utilizado para o presente estudo, e os parâmetros observados serviram de base para a adoção de um sistema de limites de porcentagem de tempo em que as aves realizam determinados comportamentos. As classes foram separadas, segundo HURNIK (1988), para a classificação das faixas obtidas no experimento, com base na literatura citada.

Dessa forma, a tabela 17 mostra faixas-padrão de porcentagem de tempo na ocorrência de determinados comportamentos das aves:

Tabela 17 – Percentagem padrão de tempo gasto para determinados comportamentos observados para situação de conforto térmico, segundo valores preconizados pela literatura, RODRIGUES (2006).

Classe	Comportamentos	Conforto (%)
Essenciais a vida	Comendo	21-26
	Bebendo	1-3
Essenciais ao conforto e saúde	Ciscando	8-14
	Inv. Penas	10-20
	Sentada	7-13
	Parada	4-17

Fonte: BARBOSA FILHO, 2004; RUDICKIN E STEWART, 2003; MOLLENHOST, 1999; MENCH, 1985; BAREHAN, 1976

Esses valores mostram que em câmara climática, existem faixas que admitem maior percentagem de tempo transcorrido, quando comparadas às preconizadas pela literatura. Isso pode ser explicado pelo fotoperíodo adotado na câmara e pelo fato de o ambiente não estar diretamente vinculado ao ambiente externo e a suas variações no decorrer do dia.

### 3.3.3.4..2. Análise combinada

Objetivando de refinar os estudos de localização e de postura corpórea, realizou-se uma análise combinada entre os métodos.

Ao analisar a distribuição de aves, ao longo da seqüência de imagens, pode-se ter informações quanto à localização de cada ave na seqüência temporal analisada, porém o comportamento não está necessariamente relacionado à localização da ave. É importante constatar que a freqüência em determinados lugares do “box” mostra a necessidade da ave quanto ao conforto, como a presença no bebedouro ser maior em situações de estresse se comparada às situações de conforto térmico.

Para verificar a distribuição temporal das aves e as posturas corpóreas adquiridas, foi enumerada cada uma das 360 imagens de cada período, cada dia e

cada tratamento. Para cada ave, foram analisadas, em conjunto, a postura corpórea adquirida e a localização, com o objetivo de indicar qual a situação da ave naquele momento da análise.

Foi analisado, através da postura corpórea, qual o comportamento da ave em todas as imagens e a sua localização entre as áreas delimitadas, para as seqüências de imagens nos três períodos, sendo a média de comportamentos, para cada tratamento, mostrada nas tabelas 18 e 19.

Tabela 18 – Comportamentos reconhecidos em porcentagem, em regiões delimitadas para conforto, RODRIGUES (2006).

Regiões delimitadas	Tratamento: Conforto					
	Bebendo	Ciscando	Inv. Penas	Comendo	Parada	Sentada
Bebedouro	59	13	12	0	7	9
Comedouro	0	68	2	29	1	0
Ninho	1	0	0	0	0	99
Área livre	1	61	14	4	10	10
Com. + Beb.	36	36	4	15	8	1

Verifica-se que existe uma forte correlação entre a localização e o comportamento efetuado pelas aves, quando submetidas a situações de estresse. O ato de beber água em situação de estresse, quando na região do bebedouro, é de 76 %. Isso não é verificado em situações de conforto, pois nota-se que o ato de beber água é de 59% contra 41 % de outros comportamentos, em situação de estresse.

Tabela 19 – Comportamentos reconhecidos em porcentagem, em regiões delimitadas para estresse, RODRIGUES (2006).

Regiões delimitadas	Tratamento: Estresse					
	Bebendo	Ciscando	Inv. penas	Comendo	Parada	Sentada
Bebedouro	76	21	0	0	0	3
Comedouro	0	14	1	82	2	1
Ninho	0	0	0	0	11	89
Área livre	6	63	15	2	5	9
Com. + Beb.	52	2	0	45	1	0

Pode ser visto, ainda, que, em situações de estresse, a presença das aves no comedouro está relacionada a outros comportamentos: 82% das aves nessa região estavam na posição de se alimentar, conforme a classificação das posturas adquiridas pelas aves. Isso pode ser explicado pelo fato de que a ave não atingiu o estado de prostração e ainda estava ingerindo alimento, para utilizar a energia para usar estratégias de perda de calor ou de bicagem do alimento.

### 3.3.3.4.3. Análise comparativa

Uma das grandes vantagens da utilização dessa nova ferramenta de avaliação, e de reconhecimento de padrões, está diretamente relacionada com os sistemas convencionais utilizados até o momento. Sistemas, que sejam mais rápidos, e garantam a confiabilidade da informação, são fundamentais no processo decisório, da escolha da ferramenta, ser usada na zootecnia de precisão. Baseando-se nessa visão foram comparados os dados obtidos pela classificação das imagens, feitas pela Rede Neural Probabilística aos dados de origem pertencentes ao trabalho de BARBOSA FILHO (2004), que compõem o banco de dados de imagens do NUPEA/ESALQ/USP.

As posturas corpóreas analisadas na pesquisa foram adotadas de forma visual pelo pesquisador, sem diferenciar possíveis variações de comportamento que

pudessem produzir as mesmas posturas corpóreas. O trabalho original possui 12 comportamentos, dos quais 6 foram adotados para a caracterização neste trabalho, tais como: comendo, bebendo, ciscando, parada, sentada e investigando penas.

Dessa maneira, tem-se que apenas 6 situações podem ser caracterizadas com certa eficiência pela rede adotada.

Os percentuais dos dois últimos períodos foram somados, para que pudesse ser feita a comparação com os dados de referência.

A tabela 20 mostra as semelhanças entre as caracterizações feitas pela técnica adotada e pelo método de caracterização visual entre os trabalhos relacionados anteriormente.

Tabela 20: Valores percentuais de tempo médio de execução do comportamentos para situação de conforto para análise visual\* e computacional, sendo P1 (período 1) das 10:00 às 11:00 h, P2 (período 2) das 13:00 às 14:00 h, P3 (período 3) das 16:00 às 17:00 h.

Padrões de comportamentos	Método visual*		Método computacional	
	P1	P2+P3	P1	P2+P3
Comendo	28	20	23	18
Bebendo	2	1	3	3
Ciscando	1	15	8	9
Inv. Penas	5	12	7	14
Sentada	26	30	30	22
Parada	26	22	29	34

\* adaptado de BARBOSA FILHO, 2004.

Os valores percentuais dos comportamentos são condizentes com os dados de referência. Para as situações de estresse térmico, também foram encontrados resultados semelhantes, quanto à eficiência da técnica (tabela 21).

Tabela 21 – Valores percentuais de tempo médio de execução dos comportamentos para situação de estresse, em análise visual (adaptado de BARBOSA FILHO, 2004) e computacional, sendo P1 (período 1) das 10:00 às 11:00 h, P2 (período 2) das 13:00 às 14:00 h, P3 (período 3) das 16:00 às 17:00 h.

Padrões de comportamentos	Método visual		Método computacional	
	P1	P2+P3	P1	P2+P3
Comendo	36	25	29	27
Bebendo	9	6	11	12
Ciscando	25	19	29	19
Inv. Penas	4	5	15	29
Sentada	14	6	14	9
Parada	12	39	2	4

Mais uma vez são notórias as diferenças entre os tratamentos e os comportamentos observados. Os padrões observados através dos dois métodos de análise de imagens, visual (BARBOSA FILHO, 2004) e computacional, apresentam-se condizentes na medida que caracterizam as condições de conforto como uma situação de grande demanda por alimento e de baixo consumo de água. Quanto ao estresse, os dois métodos acusam a maior percentagem de consumo de alimento em relação à situação de conforto, o que foi justificado anteriormente pela demanda energética para o controle térmico, pois as aves são animais muito agitados e podem estar apenas bicando o alimento (DUNCAN, 1987).

#### **3.3.3.4.4. Avaliação da eficiência metodológica**

A necessidade de se avaliar metodologias é muito importante na área de ambiência animal e de bem estar, pois existem vários caminhos a seguir, porém há necessidade da redução de erros. Em função disso, avaliou-se as metodologias com o objetivo de subsidiar a informação do uso da inteligência artificial na área de ambiência animal, uma vez, que, se trata de uma aplicação inovadora na área.

A metodologia demonstrou que existe a possibilidade de automatizar a análise de imagens de forma segura, quanto às informações de dispersão espaço-temporal de

animais confinados, isso traz uma grande aplicabilidade as diferentes cadeias produtivas, quando se trata de confinamento animal.

As operações entre matrizes demonstraram ser de grande facilidade e com resultado satisfatório para o efetivo rastreamento dos animais, o que abre uma grande oportunidade de novos estudos nesse segmento aplicando as técnicas para avaliação e acompanhamento em tempo real da produção.

Por enquanto nesta pesquisa foi testada apenas a hipótese de um sistema de visão computacional poder classificar, de forma segura, os comportamentos realizados no caso pelas aves, o que na verdade, estende-se também a outras produções.

Quanto ao tempo gasto para a análise das imagens, foi comparado ao tempo de trabalho do pesquisador, entre o método visual e o método de visão computacional proposto. A tabela 22 indica o tempo necessário para executar as etapas listadas, comparando os métodos visual e computacional.

Tabela 22 – Verificação de tempo gasto em horas para a classificação das imagens, RODRIGUES (2006).

	Visão computacional	Método visual
n° de imagens analisadas visualmente	1.800	43.200
	1.800	43.200
tempo gasto (h)	56	160
n° de imagens classificadas	4.320	43.200
Tempo gasto (h)	16	160

O tempo gasto para a análise visual das imagens, para o uso do referido treino da RNA, foi de aproximadamente 56 horas. A RNA, após o treino, utilizou 16 horas para a classificação das 4.320 imagens do referido estudo. Apesar do fato de que esse tempo seja 10% do tempo gasto para a classificação das imagens pelo método visual,

tem-se que esta foi feita a cada segundo, diferente do método computacional, que analisou imagens a cada 10 segundos.

Portanto o tempo de classificação é o mesmo para os dois métodos, porém deve-se considerar o fato de que o tempo para a classificação das imagens pelo método computacional está relacionado ao tempo gasto pelo computador. Isso é importante, ao considerar a fadiga do experimentador, quando analisa visualmente as imagens, bem como a inserção de erros.

Com toda certeza, técnicas mais sofisticadas poderão suprir algumas deficiências da metodologia em questão, e um sistema que rastreie animais e que reconheça sua postura, ao mesmo tempo, fornecerá dados relevantes quanto às imagens a analisar. Na verdade, pretende-se com o andamento das pesquisas nessa área, que a evolução de métodos permita, cada vez, mais aprimorar e facilitar na tomada de decisão.

Esta metodologia poderá ser generalizada para qualquer animal, visto que imagens da superfície do animal podem apresentar diferentes alcances e tamanhos de imagens.

Os avanços alcançados até o momento com as pesquisas foram: a proposta de uma metodologia que demonstrou a facilidade de manipulação de imagens para análise de animais dispostos no tempo e espaço, que no caso de estudos comparativos, como realizado, mapas de deslocamento dos animais durante um determinado tempo podem ser auxiliar para o estudo das necessidades dos mesmos quando submetidos a um tratamento, ou seja, a concentração destas em algumas regiões é indício das suas necessidades.

No caso específico da avicultura, metodologia proposta poderá viabilizar um sistema automático de informações em tempo real, quanto ao nível de dispersão das aves em aviários comerciais. Em situações de desconforto, as aves tendem a se concentrar em regiões que propiciem eficientes trocas térmicas, quando submetidas ao estresse calórico. O método proposto propicia informações em tempo real quanto ao deslocamento dos animais e frequência de acesso a regiões de interesse, como bebedouros e comedouros, entre outros.

E o mais importante ainda, como fruto para a continuação da pesquisa é que A dinâmica de aves confinadas em grandes aviários poderá ser monitorada, portanto, de forma bastante simples, utilizando processamento de imagens.

### **3.3.4. Contribuição científica**

Trata-se de uma área nova, quando se fala de ambiência e de bem-estar animal, uma vez, que, em outras áreas do conhecimento a aplicação é bastante difundida. A utilização das ferramentas tecnológicas envolvidas nesse capítulo, relaciona-se com a precisão das informações, bem com as formas interativas de avaliação de processos produtivos.

Com o uso crescente da tecnologia da informação no meio rural, a pesquisa científica e a tecnológica deverão fornecer em médio e longo prazo soluções para o dia-a-dia da produção, de acordo com o nível competitivo do mercado exportador de proteína animal e do nível tecnológico dos nossos produtores.

Dessa forma, as contribuições dos trabalhos aqui relacionados fornecem subsídios para pesquisadores e para projetistas, para considerarem o maior envolvimento entre os elementos necessários a produção (animal, ambiente, instalação, manejo, dentre outros).

Na verdade sob nosso ponto de vista, são muitos os motivos para a utilização dessas ferramentas. Pois trata-se, de técnicas baseadas em sistemas matemáticos que apresentam a capacidade de generalização e de aprendizado, fornecendo ao usuário informações contidas em intervalos de confiança aceitáveis em pequenos períodos de tempo.

O pesquisador, como usuário em primeiro grau, busca por satisfazer as necessidades de informação, de forma rápida e eficaz, um usuário de segundo grau seria aquele que utiliza de mecanismos baseados em redes neurais artificiais, para automação de sistemas, de acionamento de sensores, de dispositivos de alarme, entre outros instrumentos de tomadas de decisão em tempo real.

A utilização, por exemplo, das redes neurais artificiais nesses sistemas permite atribuir a eles um caráter dinâmico e contínuo. Isso, deve-se ao fato, da maior, participação ativa dos usuários de primeiro grau, ou seja, os especialistas, para que o

uso dos usuários de segundo grau, passivos, recebam a informação otimizada para o processo contínuo como, por exemplo, monitoramento de animais, acionamento de sensores, etc.

### **3.5. Aplicabilidade ao produtor**

O contínuo crescimento das demandas de mercado, relacionado com a produção animal está exigindo, cada vez mais, numa velocidade assustadora, a profissionalização dos serviços e produtos.

Nessa conjuntura, a produção industrial de aves e suínos, tem um desenvolvimento eficaz, o que, motivada pelas exigências desse mercado busca sempre melhoria, nas reduções de perdas e na identificação dos gargalos tecnológicos, que emperram o sistema de produção.

Em função disso, é importante o uso de ferramentas que forneçam a confiabilidade, a rapidez e a precisão nas informações relacionadas às diferentes etapas produtivas.

Portanto, é necessário, que os produtores, possam ter acesso às essas novas tecnologias, de maneira segura e com uma viabilidade técnica assegurada pela pesquisa científica.

Nesse sentido, hoje acreditamos que o uso de sistemas inteligentes de apoio à tomada de decisão, baseados em programas aplicativos, em que os elementos responsáveis pela ação, seja o animal, atuando como um biosensor, será a nova tendência mundial do controle da produção. Isso porque, o mercado consumidor está exigindo constantemente, a busca pela segurança alimentar e pela produção visando melhores condições de bem-estar animal.

## **IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

**N**o decorrer dos últimos anos, houve uma grande mudança nos conceitos relacionados às construções rurais, ao conforto animal e à ambiência. O que anteriormente, relacionava ao sistema produtivo, o produto final da exploração, seja carne, sejam ovos, seja leite, etc., deu-se lugar, a uma maior preocupação, envolvendo as etapas da produção, desde o nascimento até a mesa do consumidor.

Essa nova tendência, rege atualmente, as grandes necessidades de adaptação de toda a cadeia agro - alimentar, no sentido de repensar os sistemas produtivos. A instalação rural deixou de ser, simplesmente um abrigo, para assumir o papel de uma fábrica de proteína seja animal ou vegetal. O que era acionado pelo operário, passou a ser acionado por sensores e por atuadores, visando redução de erros e menor dependência humana nesses controles. A ambiência animal especificamente, deixou de ser simplesmente sistemas de resfriamento evaporativo, ventilação para atender uma demanda real do animal como, biosensor.

Porém, com os avanços tecnológicos da última década, visualiza-se uma realidade técnica bastante diferente, onde a tecnologia da informação é uma grande aliada.

Na atual conjuntura com o advento da Zootecnia de Precisão, os conceitos de produção e a profissionalização dos diferentes setores foram inseridos nos círculos comuns, envolvendo as empresas, os produtores, os pesquisadores, e o mercado consumidor. O grande avanço nessas mudanças foi impulsionado pela rastreabilidade de processos e de produtos que impulsionou as pesquisas nessa área específica.

A necessidade de tomadas de decisão baseadas em uma visão especialista, e com redução de erros, e, principalmente perdas, induziram o aparecimento de soluções técnicas, baseadas em modelagem matemática, em sistemas inteligentes de apoio a decisão, evidenciando uma padronização e uma validação de metodologias que forneçam com maior confiabilidade, decisões em tempo real.

O uso da identificação eletrônica, de técnicas de análise das imagens e de visão computacional para a interpretação das respostas comportamentais de animais, bem

como, as ferramentas da inteligência artificial empregadas na exploração animal proporcionará em médio e longo prazo respostas e aplicações diretas, para os pesquisadores, para os produtores e para as empresas.

Assim, sem dúvida nenhuma, a área a qual foi empenhado tempo e esforços no desenvolvimento das linhas de pesquisas relatadas neste trabalho, promoveram e ainda promovem contribuições científicas, nos avanços da Zootecnia de Precisão no país.

A visualização de futuro para as explorações avícolas e suínicas será o uso em tempo real da observação no campo, com os sistemas de automação e de controle, sendo acionados pelo animal (biosensor), por meio de um sinal interpretado por sistemas inteligentes sejam observacionais, sejam eletrônicos.

A ambiência animal estará relacionada à resposta real do animal, e as suas condições de bem estar, não pela qualidade térmica e psicrométrica do ar, mas pelo conjunto de fatores que influenciam nesse processo.

Para os pesquisadores da área, esse é um caminho sem volta, e o nosso papel sempre será caminhar na frente com os olhos voltados para as necessidades do nosso cliente, o animal, e para as demandas do mercado, considerando e facilitando a realidade de trabalho, do produtor brasileiro.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAMSSON, P.; TAUSON, R. Aviary Systems and conventional cages for laying hens. **Acta Agriculturae Scandinavica**. Sect. A. Animal Science, Sweden. v. 45, p. 191-203, 1995.
- ABRAHAMSSON, P.; TAUSON, R. Performance and cage quality of laying hens in an aviary system. **Journal of Applied Poultry Research**, Athens, v. 7, p. 225-232, 1998.
- ADRIAN, A.M.; NORWOOD, S.H.; MASK, P.L.; Producers perception and attitudes toward precision agriculture technologies. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.48.p.256-271.2005.
- ALTROCK, C.V. **Fuzzy logic & neurofuzzy applications explained**. Prentice Hall: New Jersey, 1995. 327p.
- ALVES, S.P.; Aplicação de inteligência artificial no estudo do comportamento de diferentes linhagens de aves poedeiras submetidas a criação em cama e gaiola. 2006. 140 p. **Tese** (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – ESALQ/USP;
- ALVES, S.P.; BARBOSA FILHO, J.A.D.; SILVA, M.A.N.; SILVA, I.J.O.; BERNARDI, J. Comparações entre comportamentos de aves poedeiras criadas no sistema de gaiolas e em cama. 2004. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 6, p. 140, 2004. Suplemento. Apresentado na Conferência Apinco, 2004, Santos.
- ALVES, S.P.; SILVA, I.J.O.; Effects of housing on behaviour and physiologic parameters of two laying hens strain under Brazilian conditions. **Animal Behavior**, 2007. (no prelo).
- ALVES, S.P.; RODRIGUES, V. C.; CONCEIÇÃO, M. N.; **SILVA, I. J. O.**; SOUZA, C. C., Padrões comportamentais e atividades de duas linhagens de aves poedeiras criadas em cama frente á variações meteorológicas. In: IV Congresso Brasileiro de Biometeorologia, 2006, Ribeirão Preto. CD-ROM - **Anais** do IV congresso Brasileiro de Biometeorologia. Ribeirão Preto: Apta - IZ, 2006.
- AMENDOLA, M.; CASTANHO, M. J.; NAAS, I. A.; SOUZA, A.L.; Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos Fuzzy. **Biomatemática**, Campinas, SP, v.14,n.1, p. 87-92, 2004.
- AMENDOLA, M.; CASTANHO, M.J.; NAAS, I. A.; SOUZA, A.L.; Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos fuzzy. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2004, São Pedro, SP. Anais do XXXIII CONBEA. Campinas, SP. Universidade Estadual de Campinas, 2004.v.1.p. 1-4.
- AMENDOLA, M.; MOLLO NETO, M.; CRUZ, V.F. Using Fuzzy sets theory to analyze environmental condition in order to improve animal productivity. **Biomatemática**, Campinas, v. 15, p. 29-40, 2005b.

- AMENDOLA, M.; SOUZA, A.L.; BARROS, L.C. **Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5**. Campinas: UNICAMP, FEAGRI & IMECC, 2005a. 46 p. Disponível em: <[http://www.ime.unicamp.br/~laeciocb/MANUAL\\_2005.pdf](http://www.ime.unicamp.br/~laeciocb/MANUAL_2005.pdf)> Acesso em: 10 fev. 2007.
- ANDRADE, M.T.C. A técnica da lógica fuzzy aplicada ao controle automáticos de processos em plantas químicas industriais. In: Congresso de Equipamentos e Automação da Indústria Química e Petroquímica, 3., São Paulo, 1997. **Resumos**. São Paulo, 1997.p.72
- ARIRABOIA, G.; **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 1988.
- ARTMANN, R.; Electronic identification systems: state of the art and their further development. **Computers and Electronics in Agriculture**. n.24. p. 5-26, 1999.
- ASTION, M.; WILDING, P. The aplication of backpropagation neural networks to porblems in pathology and laboratory medicine. **Archive Pathology Laboratory Medicine**, v.116, p.995-1001, 1992.
- BANDEIRA FILHO, J.J. Sistema de interconexão de equipamentos eletro/eletrônicos para Zootecnia de Precisão. 2003. 92 p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- BARBOSA FILHO, J.A.D. Avaliação do bem-estar de aves poedeiras em diferentes sistemas de produção e condições ambientais utilizando análises de imagens. 2004. 123 p. **Dissertação** (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- BARBOSA FILHO, J.A.D.; ALVES, S.P.; SILVA, M.A.N.; SILVA, I.J.O.; BRIQUESI, L. Avaliação do bem-estar de aves poedeiras criadas em cama e em gaiola em função da produção de ovos. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, 2004, Campinas, v. 6, p.140, 2004. Suplemento. Apresentado na Conferência APINCO’04, Santos.
- BARBOSA FILHO, J.A.D.; SILVA, M.A.N.; SILVA, I.J.O.; COELHO, A.G.; Egg quality in layer housed in different production systems an submitted to two environmental conditions. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.8.n.2,, p.23-28. FACTA, 2005.
- BARBOSA FILHO, J.A.D.; RODRIGUES, V.C.; SILVA, I.J.O.; SILVA, M.A.N.; SILVA, J. C.M. Avaliação de um novo método de análise de comportamentos de aves de postura submetidas a dois sistemas de criação. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2006, João Pessoa, PB. **Anais**. João Pessoa: SBEA, 2006.
- BAREHAN, J.R. A comparison of the behavior and production of laying hens in experimental and conventional battery cages. **Applied Animal Ethology**, Amsterdam, v. 2, p. 291-303, 1976.

- BENSON, E.R. Poultry behavior analysis system using machine vision. **Applied Poultry Engineering News**, Delaware. v. 2, p. 2-3, 2004.
- BRIDLE, J.E.; A review of animal identification: from simple manual techniques to automatic transponding systems. **Landbauforschung Völkenrode**, v.18, p.127-148, 1973.
- BROOM, D. M. Animal welfare: concepts and measurement. **Journal of Animal Science**, v.69, n.10, p.4167–4175, 1991.
- BROOM, D.M., The scientific assessment of animal welfare. **Applied Animal Behavior Science**, Amsterdam, v. 20 p. 5-19, 1988.
- CADENAS, J.M.; PELTA, D.A.; PELTA, H.R.; VERDEGAY, J. L. Application of Fuzzy optimization to diet problems in Argentinean farms. **European Journal of Operational Research**, v.1, n.5, p.10-12, 2003.
- CALLAN, D. E.; LASKY, R. E.; FOWLER, C. G.; Neural networks applied to retro cochlear diagnosis. **Journal of Speech, Language, and Hearing Research**, v.42, p.287-299, 1999.
- CARO, I. W.; **SILVA, I. J. O.**; MOURA, D.J.; PANDORFI, H.; SEVEGNANI, K.B.; Eficiência das leitoras fixas utilizadas na identificação eletrônica de animais por radiofrequência. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Lavras, MG., v. 5, n. 2, p. 49-58, 2003.
- CARVALHO, T. M.; VALE, M.M.; SILVA, W. T. ; MOURA, D. J. de ; NAAS, I. A. ; SALGADO, D. D. Uso da visão computacional na análise do comportamento de pintainhos no decréscimo gradual da temperatura. In: Simpósio de Construções Rurais e Ambientes Construídos - SIMCRA 2006, 2006, **Anais**. Campinas. SP: FEAGRI-UNICAMP, 2006. v. 1. p. 89-94.
- CHENG, Bing; TITTERINGTON, D.M. Neural Networks: a review from a statistical perspective. **Statistical Science**, v.9, n.1, p. 2-54, 1994.
- CONAI: Tutorial Inteligência Artificial. In: Congresso Nacional de Automação Industrial. **Anais**. São Paulo, 1994.
- CORNELISSEN, A.M.G.; BERG, J.; KOOPS, W.J; KAYMAK, U. Elicitation of expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production systems. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.1, n.1, p 1–18, 2002.
- CURTO, F. P. F.; NAAS, I. A.; PEREIRA, D. F. ; MURAYAMA, M.C. ; BEHRENS, F. H. . Predicting broiler breeder's behavior using electronic identification. E-journal. International Commission of Agricultural Engineering, Texas, Estados Unidos, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2002.

- CVETICANIN, D. New approach to the dynamic weighing of livestock. **Biosystems Engineering**, v.86, n.2, p.247-25, 2003.
- CRONIN, G.M.; WIEPKEMA, P.R. An analysis of stereotyped behaviour in tethered sows. **Annales de Recherches Veterinaires**, v.15, n.1, p.263-70, 1984.
- CROSS, Simon S.; HARRISON, Robert F.; KENNEDY, R. Lee. Introduction to neural networks. **Lancet**, v.346, p.1075-1079, 1995.
- CUNNINGHAM, F.E.; COTTERILL, O.J.; FUNK, E.M. The effect of season and age of bird on egg size, quality and yield. **Poultry Science**, London, v. 39, n. 1, p. 280-290, 1960.
- DANIEL, M.; BALNAVE, D. Response of laying hens to gradual and abrupt increases in ambiente temperature and humidity. **Australian Journal Agriculture Husbandry**, Melbourne, v. 21, p. 189-195, 1981.
- DESHAZER, J. A. Imaging systems to improve stockmanship in pig production. p. 24, 1988. (ARFC Inst. Eng. Res. Div. Note DN 1459).
- DONHAM, K. A historical overview of research on the hazards of dust in livestock buildings. In: International Symposium On Dust Control In Animal Production Facilities, 30. Aarhus, 1999. **Proceedings**. Horsens: Danish Institute of Agricultural Sciences, 1999. p.13-21.
- DOOL, R. V. D. Fourier-Mellin Transform, 2004. Disponível em: <<http://students.ee.sun.ac.za>>. Acesso em: 16 fev. 2007.
- DUNCAN, I.J.H. The changing concept sentience. **Applied Animal Behavior Science**, London, v. 100, p. 11-19, 2006.
- DUNCAN, I.J.H.; KITE, V.G. Some investigations into motivation in domestics fowl. **Applied Animal Behavior Science**, London, v. 37, p. 215-231, 1987.
- DUSENBERY, D.B. Using a microcomputer and vídeo to simultaneously track 25 animals. **Computer Biological Medicine Veterinary**, Atlanta, v. 15, n. 4, p. 169-175, 1985.
- DYBOWSKI, R.; GANT, V. Artificial neural networks in pathology and medical laboratories. **Lancet**, v.346, p.1203-1207, 1995.
- ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. West Port CT: ABI, 1982. 325p.
- ESTOCK, K. Nifty neural networks. **Independent Banker**, Sauk Centre, v.49, n.11, p.21-23, nov. 1999.
- ERADUS, W.J.; JANSEN, M.B.; Animal identification and monitoring. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.40.p.1-3, 2003.
- FERREIRA, L.; YANAGI JUNIOR, T.; NÄÄS, I. A.; LOPES, M. A.; Predição de cio em vacas

leiteiras utilizando lógica fuzzy. In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, **Anais**. 2006, João Pessoa, PB. SBEA, 2006.v.35.

FIALHO, F.B. Modernização no controle da produção de suínos: zootecnia de precisão. In: SILVA, I.J.O. **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. p.131-148.

FIALHO, F. B.; LEDUR, M.C.; Modelo matemático para curvas de produção de ovos. **Comunicado Técnico n.256 Embrapa Suínos e Aves**, p.1-3, setembro 2000a.

FIALHO, F. B.; LEDUR, M.C.; Estimador da produção de ovos. **Comunicado Técnico n.257 Embrapa Suínos e Aves**, p.1-2, setembro 2000b.

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

FORSSTRÖM, J.J.; DALTON, K.J. Artificial neural networks for decision support in clinical medicine. **Annals of Medicine**, v.27, n.5, p.509-517, 1995.

FRASER, D. Animal ethics and animal welfare science. Bridging the two cultures. **Applied Animal Behavior Science**, Vancouver, v. 65, p. 71-89, 1999.

FREEMAN, B. M. The domestic fowl in biomedical research: physiological effects of the environment. **World Poultry Science Journal**, London, v.44, p. 41-60, 1988.

FREIRE, R.; WALKER, A.; NICOL, C.J. The relationship between trough height, feather cover and behaviour of laying hens in modified cages. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 63, p. 55-64, 1999.

GOMIDE, F.A.; GUDWIN, R.R.; TANSCHKEIT, R. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy lógica e aplicações. In: INTERNATIONAL FUZZY SYSTEMS ASSOCIATION WORLD CONGRESS, 6, **Resumos**. Campinas: IFSA, 1995. p.1-38.

GONZALEZ. R.C.; WOODS. R.E. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Prentice Hall, 2001. p.12-125.

GOEDSEELS, V. A data-acquisition system for electronic identification, monitoring and control of group-housed pigs. **Journal Agriculture Engineer Research**, v.53, n.3, p.25-33, 1992.

GOODMAN, P.H. & HARREL JR., F.E.; Neural networks: advantages and limitations for bioestatistical modeling. [www.scs.unr.edu/nevprop](http://www.scs.unr.edu/nevprop), 1999.

GUIA DE MANEJO HY-LINE 2002/2003. 20p. Disponível em: <[http://www.hyline.com/w98\\_s\\_01.pdf](http://www.hyline.com/w98_s_01.pdf)> Acesso em: 05 fev. 2007.

- GUIA DE MANEJO ISABROWN, 2002 62p. Disponível em: <<http://www.colaves.com>>. Acesso em: 05 fev. 2007.
- HAHN, G.L.; NIENABER, J.A.; DESHAZER, J.A. Air temperature influences on swine performance and behavior. **Applied Engineering in Agriculture**, v.3, n.2, p.295-302, 1987.
- HANNAS, M.I.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; FERREIRA, A.S.; BARBOSA, R.B.; FERREIRA, R.A.; MORETI, A.M.; Efeito da temperatura ambiente sobre os parâmetros fisiológicos e hormonais de leitões dos 15 aos 30 kg. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 36. **Anais**. Porto Alegre: SBZ, 1999.
- HAYKIN, S. **Redes neurais**: princípios e práticas. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900p.
- HEIKKONEN, J.; BULSARI, A. Editorial Special Issue on Neural Networks for Computer Vision Applications. **Patterns Recognition Letters**, Ispra, v. 17, p. 317-318, 1996.
- HOFF, S.J.; A quasi ad-libitum electronic feeding system for gestating sows in loose housing. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.19, n.3, p.277-288, 1998.
- HOLM, D.M.; Passive electronic identification with temperature monitoring. In: Symposium on cow identification system and their applications, Wageningen, 1976. **Proceedings**. p.125-129. 1976.
- HURNIK, J.F. Poultry Welfare. In: HUNTON, P. (Ed.). **Poultry production**. Amsterdam: Elsevier, c. 23, p. 561-578. 1995.
- HURNIK, J.F. Welfare of farm animals. **Applied Animal Behavior Science**, Guelph, v. 20, p. 105-117, 1988.
- IVEY, Frank J. Desenvolvimento e aplicação de modelos de crescimento para frangos de corte. In: I Simpósio Internacional ACAV – Embrapa sobre Nutrição de Aves, 1999, Chapecó-SC. **Anais do I Simpósio Internacional ACAV – Embrapa sobre Nutrição de Aves**, p.22-35, 1999.
- JENDRAL, M.; CHURCH, J.S.; FEDDES, J. **Redesign battery cages to improve laying hen welfare**: final report. 2002. Disponível em: <<http://www.afac.ab.ca/research/projects/environment.htm>>. Acesso em: 20 fev. 2007.
- KACPRZYK, J.; Multistage fuzzy control. Chichester, UK: John Wiley Sons, 1997.
- KETTLEWELL, P.J., MITCHELL, M.A., MEEKS, I.R.; An implantable radio-telemetry system for remote monitoring of heart rate and deep body temperature in poultry. **Computers and Electronics in Agriculture**. N.17, p.161-175, 1997.
- KERN, C. Technische Leistungsfähigkeit und Nutzung von injizierbaren Transpondern in der Riderhaltung. **Dissertation**, TU München-Weihenstephan, 1999.

- KENNETH, R.; CASTLEMAN, R. **Digital image processing**. New York: Prentice Hall, 1996.
- KIRBY, S.D.; ENG, P.; DANTER, W.; GEORGE, C. F.P.; FRANCOVIC, T.; RUBY, R. R.F.; FERGUSON, K. A.; Neural network prediction of obstructive sleep apnea from clinical criteria. *Chest*, v.116, n.2, 1999.
- KIRBY, Y. K.; MCNEW, R. W.; KIRBY, J. D.; WIDEMAN JR., R. F. Evaluation of logistic versus linear regression models for predicting pulmonary hypertension syndrome (Ascites) using cold exposure or pulmonary artery clamp models in broilers. **Poultry Science**, v.76, p.392-399, 1997.
- KIRUNDA, D.F.K.; SCHEIDELER, S.E.; MCKEE, S.R. The efficacy of vitamin E (DL -  $\alpha$ -tocopheryl acetate) supplementation in hens diets to alleviate egg quality deterioration associated with high temperature exposure. **Poultry Science**, London, v. 80, p. 1378-1383, 2001.
- KLINDTWORTH, M.; WENDEL, G.; KLINDTWORTH, K.; PIRKELMANN, H. Electronic identification of cattle with injectable transponders. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.24, n.1, p.65-79, 1999.
- KOVÁCS, Z.L. **Redes neurais artificiais: fundamento e aplicações**. 2.ed. São Paulo: Edição Acadêmica, 1996. 176p.
- KUIP, A.; Animal identification. In: Symposium Automation in Dairyng, 3, Wageningen, Sep. 9-11, 1987. **Proceedings**. Wageningen: IMAG, 1987, p.132-136.
- LAMBOOY, E. Das Injizieren eines Transponders in den Tierkörper zur Identifikation. In: Petersen, B., Welz, M. (Eds.), Beiträge zur Tagung EDV - Anwendung in der Herden- und Gesundheitskon-trolle, Oktober 1990, Bonn. In: Agrarinformatik, v.20. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, p. 18-22.
- LAMBOOY, E.; MERKS, J.W.M.; Technique and injection place of electronic identification numbers in pigs. Zeist: 1989.p.335 (IVO B-Rapport 335)
- LEE, A.; ULBRICHT, C.; DORFFNER, G. Application of artificial neural networks for detection of abnormal fetal heart rate pattern: a comparison with conventional algorithms. **Journal of Obstetrics and Gynecology**, v.19, n.5, p.482-485, 1999.
- LEESON, S.; SUMMERS, D.J. **Commercial poultry nutrition**. Ontario: University Books, 1997. 350 p.
- LEROY T.; CEUNEN J.; STRUELENS E.; JANSSEN A.; TUYTTENS F.; DE BAERE K.; ZOONS, J.; SONCK B.; VRANKEN E.; BERCKMANS D. Developing a quantitative computer vision method for on-line classification of poultry behavior in furnished cages. In: ASAE Meeting, 2003, Las Vegas. **Anais**. Las Vegas: ASAE Paper, 2003. p. 34.

- LEROY, T.; VRANKEN, E.; VAN BRECHT, A.; STRUELENS, E.; JANSSEN, A.; TUYTTENS, F.; DE BAERE, K.; ZOONS, J.; SONCK, B.; BERCKMANS, D.; A quantitative computer vision method for on-line classification of poultry behavior in furnished cages. **Transactions of the ASAE**. 2005.
- LIND, N. M.; VINTHER, M.; HEMMINGSEN, R. P.; HANSEN, A.K.; Validation of a digital video tracking system for recording pig locomotor behavior. **Journal of Neuroscience Methods**. Bispebjerg, v. 143, p. 123-132, 2005.
- LINDBERG, A.C.; NICOL, C.J.; Dustbathing in modified battery cages: Is sham dustbathing an adequate substitute? **Applied Animal Behavior Science**, Amsterdam, v. 55, p. 113-128, 1997.
- LUND, V.; COLEMAN, G.; GUNNARSSON, S.; APPLEBY, M. C.; KARKINEN, K.; Animal Welfare Science – Working at the interface between the natural and social science. **Applied Animal Behavior Science**, London, v. 97, p. 37-49, 2006.
- LUNDBERG, A.S.; KEELING, L.J. Social effects on dustbathing behavior in laying hens: using video images to investigate effect of rank. **Applied Animal Behavior Science**, Amsterdam, v. 81, p. 43-57, 2003.
- MAMDANI, E.H.; Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. **International Journal of Man-Machine Studies**, v.8, p.669-678, 1976.
- MALIBACH, H.I.; ROVEE, D.T.; **Epidermal Wound Healing**. (Year Book Medical). Chicago. NEDAP, 1972. p. 422
- MACDONALD, R.; FELDMANN, T.; WRIGGLESWORTH, M.; Comparison of Heat Lamp to Heat Pad Creep Heat in Farrowing Units in Swine Housing. In: **Proceedings**. International Conference, 1, Iowa, 2000. St. Joseph, Michigan: ASAE, 2000. p.357-364.
- MARCHANT, J.N.; BROOM, D.M. Factors affecting posture-changing in loose-housed and confined gestating sows. **Animal Science**, v.63, n.1, p. 105–113, 1996.
- MARCHANT, J.A.; SCHOFIELD, C.P.; Extending the snake image processing algorithm for outlining pigs in scenes. **Computers and Electronics in Agriculture**, Bedford, v. 8, p. 261-275, 1993.
- MARIA, G.A.; ESCOS, J.; ALADOS, C.L. Complexity of behavioral sequences and their relation to stress conditions in chickens (*Gallus gallus dosmeticus*): a non-invasive technique to evaluate animal welfare. **Applied Animal Behavior Science**, Saragoza, v. 86, p. 93-104, 2004.
- MATARAZZO, S.V. Avaliação da intermitência de sistemas de ventilação e nebulização e as respostas fisiológicas e comportamentais de vacas leiteiras. 2004. 230 p. **Tese** (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – ESALQ/USP.

- MACCARTHY, J.; What's is Artificial Intelligence? Disponível em: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai.html> Acesso em: mar. 2007.
- McFARLANE, J.M.; BOE, K.E.; CURTIS, S.E.; Turning and walking by gilts in modified gestation crates. **Journal of Animal Science**, v.66, n.2, p. 326–333, 1988.
- McFARLANE, N.J.B., SCHOFIELD, C.P.; Segmentation and tracking of piglets in image. **Machine Vision Applied**, Guildford, v. 8, p. 187-193, 1995.
- MENCH, J.A.; van TIENHOVEN, A.; MARSH, J.A.; McCORMICK, C.; CUNNINGHAM, D.L.; BACKER, R.C. Effects of cage and floor pen management on behavior, production and physiological stress responses of laying hens. **Poultry Science**, Davis, v. 65, p. 1058-1069, 1986.
- MENDONÇA, L.R.C.; Simulador de cenários bioeconômicos para suporte a decisão no gerenciamento de fazendas produtoras de gado de corte. **Tese** (PPG Engenharia Elétrica e de Computação), UFG. Goiânia, GO. 180p. 2004.
- MOLLENHORST, H.; RODENBURG, T.B.; BOKKERS, E.A.M.; KOENE, P.; DE BOER, I.J.M. On –farm assessment of laying hen welfare: a comparison of one environment - based and two animal-based methods. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 90, n. 3/4, p. 277-291, 2005.
- MOLLO NETO, M. ; CARVALHO, V. C. de ; NAAS, I. A. . Proposta para a modelagem e desenvolvimento de um sistema especialista baseado em lógica fuzzy para prevenção da ocorrência de laminitis em gado leiteiro. In: V Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2005, Londrina. **Anais**, 2005. v. 1. p. 1-5.
- MOUNT, L.E. **The Climate Physiology of the Pig.**, Baltimore: Williams and Welkins. 1968. 271p.
- NAAS, I. A.; Precision Animal Production. **E-journal**. International Commission of Agricultural Engineering. CIGR, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2001.
- NAAS, I. A.; Applications of mechatronics to animal production. E-journal. International Commission of Agricultural Engineering, CIGR, v. 4, p. 1-14, 2002.
- NÄÄS, I.A. A influência do meio ambiente na reprodução das porcas. In: Seminário Internacional de Suinocultura, 5. São Paulo, 2000. **Anais**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. p.142-151.
- NÄÄS, I.A.; CURTO, F.P.F. Avicultura de precisão. In: SILVA, I. J. O. (Ed.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. p. 1-30.
- NAAS, I. A.; MOURA, D. J. de ; QUEIROZ, M. P. G. de ; AMENDOLA, M. . Estimating thermal comfort and solar orientation in broiler housing using Fuzzy Logic. In: VI

Congreso Latinoamericano de Ingenieria Agrícola, 2004, **Memoria**. San Jose, Costa Rica : Asociacion Costaricence de Ingenieria Agricola, 2004. v. 1. p. 1-7.

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

NIENABER, J.A.; HAHN, L.G.; YEN, J.T. Thermal environment effects on growing-finishing swine, Part I-Growth, feed intake and heat production. **Transaction of the ASAE**, v.30, n.6, p.1772-1775, 1987.

NILSOON, G. WINBERG, S. Using Cmputer Imaging to measure spontaneous locomotor activity in fish. Disponível em: <[www.noldus.com](http://www.noldus.com)>. Acesso em: 19 mar. 2007.

NIKOLOPOULOS, C. Expert systems: New York: Marcel Dekker, Inc., 1997.

NOBLET, J.; DOURMAD, J.Y.; DIVIDICH, J.; DUBOIS, S. Effect of ambient temperature and adition of straw or alfafa in the diet on energy metabolism in pregnant sows. **Livestock Production Science**. v.21, p.309-324. 1989.

NUNES, L.E.N.P.; PRADO, P.P.L. Reconhecimento de Objetos contidos em imagens através de Redes Neurais. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté, v. 5/8, p. 77-78, 1998/2002.

NUSSBAUMER, A.; LINKman II: Experience in the Apasco Group. In: 33<sup>th</sup> Thecnical Meeting/ 10<sup>th</sup> Aggregates and Ready-Mixed Concrete Conference, Basel, 1994.

OFFICE INTERNATIONAL DES EPIZOOTIES. Disponível em: <<http://www.oie.int> >. Acesso em 20 fev. 2007.

OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L., FREITAS, R.T.F.; FONSECA, F.A. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho e sobre parâmetros fisiológicos e hormonais de leitões consumindo dietas com diferentes níveis de energia digestível. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.3, p.1173-1182, 1997.

OLIVEIRA, H. L.; NAAS, I. A.; Estimating Layer's Thermal Comfort Using Fuzzy Logic. In: VI Congreso Latinoamericano de Ingenieria Agrícola, 2004, San Jose. Memoria del VI Congreso Latinoamericano de Ingenieria Agrícola. San Jose, Costa Rica : Asociacion Costaricence de Ingenieria Agricola, 2004. v.1. p. 1-10.

OLIVEIRA, H.L.; NAAS, I. A.; AMENDOLA, M.; Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos Conjuntos Fuzzy. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, SP, v. 25, n. 2, p. 300-307, 2005.

O'SULLIVAN, O. Who's that knocking on my portal? **USBanker**, New York, v.109, n.11, p.49-52, Nov. 1999.

- PANDORFI, H. Avaliação do comportamento de leitões em diferentes sistemas de aquecimento por meio da análise de imagem e identificação eletrônica. 2002. 89 p. **Dissertação** (Mestrado Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- PANDORFI, H. Comportamento bioclimático de matrizes suínas em gestação e o uso de sistemas inteligentes na caracterização do ambiente produtivo: suinocultura de precisão. 2005.119p. **Tese** (Doutorado Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- PANDORFI, H., MOURA, D.J., SILVA, I. J. O., SEVEGNANI, K. B., CARO, I. W.; Evaluation of the migratory distance of passive transponders injected in piglets. 2002. **Proceedings of the 17<sup>th</sup> IPVS Congress**. Ames. Volume 1. Paper nº139. p.309.
- PANDORFI, H; SILVA, I. J. O.; MOURA, D.; Zootecnia de precisão: avaliação de diferentes locais de implante de microchip para identificação eletrônica de leitões.. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XXXI, **Anais**. 2002, Salvador-BA. XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2002.
- PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; SEVEGNANI, K. B.; CARO, I. W.; Locais de implante de microchips de identificação eletrônica de leitões: seleção e validação por análise de imagem. In: **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP., v. 25, n. 1, p. 1-9, 2005.
- PANDORFI, H.; MOURA, D.J.; SILVA, I.J.O.; SEVEGNANI, K.B.; CARO, I.W. Evaluation of the migratory distance of passive transponders injected in piglets. IN: The 17<sup>TH</sup> Congress of the International Pig Veterinary Society, Ames-Iowa, 2002, v.1, p.309.
- PANDORFI,H.;SILVA,I.J.O.; MOURA,D.J.;SEVEGNANI,K.B.; CARO, I.W.; Piglets behavior evaluation in different heating systems using image analysis and electronic identification devices. ASABE Annual International Meeting, CD-rom, Las Vegas., NV.2003. Paper:
- PANDORFI, H.; SILVA,I.J.O.; MOURA,D.J.;SEVEGNANI,K.B.; Análise de imagem aplicada ao estudo do comportamento de leitões em abrigo escamoteador. **Engenharia Agrícola**, v.24.n.2.p.274-284, Jaboticabal, 2004.
- PANDORFI, H.; SILVA, I.J.O.; Evaluation of the behavior of piglets in different heating systems using analysis of image and electronic identification. **Agricultural Engineering International the CIGR E-journal**, v.II, n.3.p.1-24, 2005.
- PANDORFI, H.; SILVA, I.J.O.; MOURA, D.J.; Avaliação de diferentes locais de implante de microchips em leitões visando estudos bioclimáticos. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. **Anais da 39 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, CD-rom, Recife, 2002.
- PANDORFI, H.;SILVA,I.J.O.; MOURA,D.J.;SEVEGNANI,K.B.; Microclima de abrigos escamoteadores para leitões submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no

período de inverno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9.n.1.p.99-106, Campina Grande, 2005.

PEREIRA, D.; CURTO, F.P.F.; NÄÄS, I.A.; Avaliação de locais de implante de *microchip* em matrizes pesadas. 2001. **Revista Brasileira de Avicultura. Suplemento 3**, Campinas, p. 75.

PEREIRA, D.F.; SALGADO, D.D.; NÄÄS, I.A.; CURTO, F.P.F.; MURAYAMA, M.C.; Determinação de um modelo de previsão de uso de bebedouro em função da temperatura para matrizes pesadas. 2002. **Revista Brasileira de Avicultura. Suplemento 4**, Campinas, p. 79.

PEREIRA, D.F.; NAAS, I. A.; ROMANINI, C. E. B.; PEREIRA, G.O.T.; Indicadores de bem-estar baseados em reações comportamentais de matrizes pesadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 25, n. 2, p. 308-314, 2005.

PEREIRA, D.F.; NAAS, I.A.; CURTO, F.P.F.; BEHRENS, F. H.; Diferença nos comportamentos individuais quanto à preferência de uso de locais por matrizes pesadas em função do ambiente térmico. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v.43, p. 775-782, 2006.

PEREIRA, D. F.; NAAS, I.A.; Estimativa do conforto de matrizes de frango de corte baseada em análise do comportamento de preferência térmica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 25, n. 2, p. 315-321, 2005.

PEREIRA, D. F.; NAAS, I.A.; Digital monitoring of broiler breeder behavior for assessment of thermal welfare. In: 4th World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, 2006, Orlando. **Proceeding** of the 4th World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources. St Joseph, Michigan: ASABE, 2006. v.1. p. 672-677.

PEREIRA, D.F.; NAAS, I.A.; ROMANINI, C.E.B. Welfare pointers in function of behavior reactions of broiler breeders. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 308-314, 2005.

PERISSINOTO, M. Avaliação da eficiência produtiva e energética de sistemas de climatização em galpões tipo freestall para confinamento de gado leiteiro. 2004. 141p. **Dissertação** (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

PERELMUTER, G.; CARRERA, E.V.E.; NELLASEO, M.; PACHECO, M.A. Reconhecimento de imagens bidimensionais utilizando Redes Neurais Artificiais. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 8., 1995. Campinas. **Proceedings**. Campinas: Universidade de Campinas, 1995, p.197-203.

POMAR, C.; HARRIS, D.L.; SAVOIE, P.; MINVIELLE, F.; Computer simulation model of swine production systems. **Journal of Animal Science**, v.69, n.4, p.2822-2836, 1991.

- RABUSKE, R.; **Inteligência Artificial**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.
- ROBEY, Wade; GASPERONI, Giovanni; HARLOW, Harry. The IGM® as a tool for modeling broiler growth and variation. Disponível em <http://www.novusint.com/nups/0495.htm>. Acesso em: 21 mar. 2007.
- ROSENBLATT, Frank. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. **Psychological Review**, v.65, n.6, p.386-408, 1958.
- ROSSING, W. Animal identification: introduction and history. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.24, n.1, p.1-4, 1999.
- ROUSH, W.B.; KIRBY, Y.K.; CRAVENER, T.L.; WIDEMAN JR, R.F. Artificial neural network prediction of ascite in broilers. **Poultry Science**, v.75, p.1479-1487, 1996.
- ROUSH, W.B.; CRAVENER, T.L. Artificial neural network prediction of amino acid levels in feed ingredients. **Poultry Science**, v.76, n. 5, p.721-727, 1997.
- ROUSH, W.B.; CRAVENER, T.L.; KIRBY, Y.K.; WIDEMAN JR, R.F. Probabilistic neural network prediction of ascite in broilers based on minimally invasive physiological factors. **Poultry Science**, v.76, p.1513-1516, 1997.
- RUDKIN, C.; STEWART, G.D. Behaviour of hens in cages: a pilot study using video tapes. **A Report for the Rural Industries Research and Development Corporation**, v.40,n.477, p.102, 2003.
- QUEIROZ, M. P.G. de; NAAS, I. A. ; Estimativa de padrão de conforto ambiental para creche de suínos usando lógica fuzzy. In: V Congresso Brasileiro de Agroinformática, **Anais**, 2005, Londrina. v. 1. p. 1-8.
- RODRIGUES, V.C.; BARBOSA FILHO, J.A.D.; ALVES, S.P.; SILVA, I.J.O. Processamento de imagens: metodologia para o estudo da distribuição espacial de aves poedeiras. In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, CD-rom, **Anais**, SBEA,2006.
- RODRIGUES, V.C.; BARBOSA FILHO, J.A.D.; VIEIRA. A.M.C.; ALVES, S.P.; SILVA, I.J.O.; Spatial distribution of laying hens in different environmental conditions by image processing and correspondence analysis. IN: Third European Conference of Animal Livestock Precision Farmings. Skyathos, Greece, 2007.
- RODRIGUES, V.C. Distribuição espacial e bem estar de aves poedeiras em condições de estresse e conforto, utilizando visão computacional e inteligência artificial. **Dissertação** (Física do Ambiente Agrícola). 120p. 2006.
- ROSA, O.S., FIGUEIREDO, E.A.P., BOMM, E.R., BOFF, J.A.; Efeito da temperatura e duração do jejum pré-abate sobre indicadores de estresse em frangos de corte abatidos aos 35 e 49 dias de idade. . 2002. **Revista Brasileira de Avicultura. Suplemento 4**, Campinas, p. 09.

- ROSENFELD, A. From Image Analysis to Computer Vision: An Annotated Bibliography, 1955-1979. **Computer Vision an Image analysis**, London, v. 84, p. 298-324, 2001.
- ROUSH, W.B.; KIRBY, Y. Kochera; CRAVENER, T.L.; WIDEMAN JR., R.F. Artificial neural network prediction of ascites in broilers. **Poultry Science**, v.75, p.1479-1487, 1996.
- ROUSH, W.B.; CRAVENER, T.L.; Artificial neural network prediction of amino acid levels in feed ingredients. **Poultry Science**, v.76, n.5, p.721-727, 1997.
- ROUSH, W.B.; CRAVENER, T.L.; KIRBY, Y. Kochera; WIDEMAN JR., R.F.; Probabilistic neural network prediction of ascites in broilers based on minimally invasive physiological factors. **Poultry Science**, v.76, p.1513-1516, 1997.
- RUDKIN, C.; STEWART, G.D. ; Behavior of hens in cages – A pilot study using video tapes. **A Report for the Rural Industries Research and Development Corporation**, Queensland, v. 40, n. 477, p. 102, 2003.
- RUMELHART, David E.; HINTON, Geoffrey E.; WILLIAMS, Ronald J.; Learning representations by back-propagating errors. **Nature**, v.323, p.533-536, 1986.
- SANDRI, S.; CORREA, C. Lógica Nebulosa. In: Escola de redes neurais: Conselho Nacional de Redes Neurais, 5, São José dos Campos, 1999. **Anais**. São José dos Campos: ITA, 1999. p.73-90.
- SALLE, C. T. P.; SOARES, R. B.; CÉ, M. C.; SILVA, A. B.; MORAES, H. L. de S.; NASCIMENTO, V. P. do; GUAHYBA, A. S. Modelos matemáticos para avaliar a resposta imune de aves à doença de Newcastle. **A Hora Veterinária** – Ano 17, Porto Alegre – RS, n.102, p.41-44, mar/abr/1998<sup>a</sup>.
- SALLE, C. T. P.; CÉ, M. C.; LORENZINI, G.; SFOGGIA, M. V. B.; GUAHYBA, A. S.; MORAES, H. L. S.; NASCIMENTO, V. P. dCorrelation between aflatoxin and ocratoxin levels with production parameters in a poultry company. In: ASIA – PACIFIC POULTRY HEALTH CONFERENCE, 4., 1998, Melbourne – Austrália. **Abstracts**. Melbourne: Astralian Veterinary Poultry Association, p.131, 1998b.
- SALLE, C. T. P.; CÉ, M. C.; LORENZINI, G.; SFOGGIA, M. V. B.; GUAHYBA, A. S.; MORAES, H. L. S.; NASCIMENTO, V. P. Use of statistical technique on the interpretation of routine serologic data produced by poultry industry. In: ASIA – PACIFIC POULTRY HEALTH CONFERENCE, 4., 1998, Melbourne – Australia. **Abstratcs**. Melbourne: Australian Veterinary Poultry Association, p.148, 1998c.
- SALLE, C. T. P.; CÉ, M. C.; LORENZINI, G.; SFOGGIA, M. V. B.; GUAHYBA, A. S.; MORAES, H. L. S.; NASCIMENTO, V. P. Immune response assessment in turkey breeder (*Meleagris gallopavo*) under Newcastle vaccine virus by mathematical models. In: ASIA-PACIFIC POULTRY HEALTH CONFERENCE, 4, 1998, Melbourne – Australia. **Abstracts**. Melbourne: Australian Veterinary Poultry Association, p.148, 1998d.

- SALLE, C. T. P.; CÉ, M. C.; LORENZINI, G.; SFOGGIA, M. V. B.; GUAHYBA, A. S.; MORAES, H. L. S.; NASCIMENTO, V. P. Correlation between aflatoxin and ocratoxin levels with production parameters in a poultry company. In: Western Poultry Disease Conference, 48., 1999, Vancouver – Canada. **Abstracts**. Vancouver: American Association of Avian Pathologists (AAAP), p.130, 1999a.
- SALLE, C. T. P.; CÉ, M. C.; LORENZINI, G.; SFOGGIA, M. V. B.; GUAHYBA, A. S.; MORAES, H. L. S.; NASCIMENTO, V. P. Use of statistical techniques on the interpretation of routine serological data produced by a poultry industry. In: Western Poultry Disease Conference, 48., 1999, Vancouver – Canada. **Abstracts**. Vancouver: American Association of Avian Pathologists (AAAP), p.130, 1999b.
- SALLE, C. T. P.; CÉ, M. C.; LORENZINI, G.; SFOGGIA, M. V. B.; GUAHYBA, A. S.; MORAES, H. L. S.; NASCIMENTO, V. P. Immune response assessment in turkey breeders vaccinated against Newcastle disease using mathematical models. In: Western Poultry Disease Conference, 48, 1999, Vancouver – Canada. **Abstracts**. Vancouver: American Association of Avian Pathologists (AAAP), p.129, 1999c.
- SCHOUTEN, W.G.P.; LENSINK, J.; LAKWIJK, N.; WIEGANT, V.M. De-arousal effect of stereotypies in tethered sows. In: INTERNATIONAL CONGRESS ISAE, 34., Madri, 2000. **Proceedings**. Madri: ISAE, 2000. p.46.
- SCOTT, G. B., MORAN, P. Effects of visual stimuli and noise on fear levels in laying hens. **Applied Animal Behaviour Science**, Bedford, v. 45, p. 321-329, 1993.
- SERGEANT, D., BOYLE, R., FORBES, M. Computer visual tracking of poultry. **Computers and electronics in Agriculture**, Leeds, v. 21, p. 1-18, 1998.
- SEVEGNANI, K.B.; SILVA, I J.; MOURA, D.J.; CARO, I.W.; The use of Image Analysis to evaluate poultry feeding and drinking behavior under different environmental conditions, 2002, Chicago. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, 2002. p. 340-34
- SEVEGNANI, K.B.; *Ambiência animal e zootecnia de precisão: O uso da identificação eletrônica na avaliação do comportamento de frangos de corte, submetidos ao estresse térmico em câmara climática.* **Relatório de pós doutorado** entregue a USP. 2003. 78p.
- SEVEGNANI, K.B.; MOURA, D.J.; SILVA, I.J.O.; CARO, I.W.; ROMA JUNIOR, L.C. MATARAZZO, S.V.; PERISSINOTTO, M. Avaliação de diferentes locais para implante de microchips injetáveis em frangos de corte. IN: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. **Anais** da 39º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Recife-PE: 2002.
- SEVEGNANI, K.B.; SILVA, I.J.O.; MOURA, D.J.; CARO, I.W.; The use of image analysis to evaluate poultry feeding and drinking behavior under different environmental conditions. In: ASABE Annual International Meeting, CD-room, Las Vegas, NV. 2003. Paper:03/1125

- SEVEGNANI, K.B.; CARO, I.W.; PANDORFI, H.; SILVA, I.J.O.; MOURA, D.J. Zootecnia de Precisão: análise de imagens no estudo do comportamento de frangos de corte em estresse térmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9.n.1.p.115-119, Campina Grande, 2005.
- SHAO, J.; XIN, H.; HARMON, J.D. Neural network analysis of postural behavior of young swine to determine their thermal comfort state. **Transactions of the ASAE**, v.40, n.3, p.755-760, 1997.
- SHAO, J.; XIN, H.; HARMON, J.D. Comparison of image feature extraction for classification of swine thermal comfort behavior. **Computer and Electronics in Agriculture**, v.19, p.223-232, 1998.
- SILVA, I.J.O. Desenvolvimento de Modelos Matemáticos para Análise da Influência das Condições Ambientais na Produção de Ovos. 1998.140 p. **Tese** (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.
- SILVA, I.J.O.; NÄÄS, I.A.; Zootecnia de Precisão: um novo conceito e um desafio para a ambiência na engenharia agrícola. In: **Notasalq**, n.2. Agosto, 1998.p. 6.
- SILVA, I.J.O.; Zootecnia de Precisão e Ambiência, as novidades da atividade. IN: **AgropecuáriaHoje**, ano IV, n.21, Setembro, 1998.p.15.
- SILVA, I.J.O. Qualidade do ambiente e instalações na produção industrial de suínos. In: Simpósio Internacional de Suinocultura. São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo: Gessuli, 1999. p.108-325.
- SILVA, I. J. O., MOURA, D. J., SEVEGNANI, K. B., PANDORFI, H., ROMA JÚNIOR, L. C., CARO, I. W. Evaluation of the Migratory Distance of Passive Transponders Injected In Different Body Sites of Broilers Using Electronic Identification. In: ASAE Annual International Meeting / CIGR XV<sup>th</sup> World Congress, Chicago, 2002.
- SILVA, I.J.O., MOURA, D.J., SEVEGNANI, K.B., PANDORFI, H., ROMA JÚNIOR, L.C., CARO, I.W. Evaluation of the migratory distance of passive transponders injected In different body sites of broilers using electronic identification. 2002. ASAE Annual International Meeting/ CIGR World Congress, Chicago. ASAE, St. Joseph, Michigan.11 pg.
- SOARES, R. C. B.; Avaliação da resposta imunológica em reprodutoras de perus (*Meleagris gallopavo*) diante do vírus vacinal da doença de Newcastle através de modelos matemáticos. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 75p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Veterinárias). Faculdade de Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SOLER, M. A. F.; Redes Neurais Artificiais de Specht: Probabilistic Neural Network, Polynomial Neural Network e General Regression Neural Network. In: CABRAL

- JÚNIOR, E. F. **Redes Neurais Artificiais : Modelos em C**. São Paulo: Suprema, 2003. cap. 19, p. 297-324.
- SPINK, A.J.; TEGELENBOSCH, R.A.J.; BURNA, M.O.S.; NOLDUS, L.P.J.J.; The ethovision video tracking system: A tool for behavior phenotyping of transgenic mice. **Physiology and Behavior**, Wageningen, v. 73, p. 731-744, 2001.
- STOLBA, A.; WOOD-GUSH, D.G.M.; The behavior of pigs in a semi-natural environment. **Animal Production**, v. 48, p.419-425, 1989.
- TANGERINO, C.; Lógica fuzzy aplicada em controladores programáveis. In: Congresso Nacional de Automação Industrial, CONAI, **Anais**. São Paulo, 1994.
- TAVARES, M.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; FERREIRA, A.S.; Influência da temperatura ambiente sobre o desempenho e os parâmetros fisiológicos de leitões dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.2, 791-798, 1999.
- TILLET, R. D.; Model-based image processing to locate pigs within images. **Computers and Eletronics in Agriculture**, London, v. 6, p. 51-61, 1991.
- TILLET, R. D., ONYANGO, C. M., MARCHANT, J. A.; Using model-based image processing to track animal movements. **Computers and Eletronics in Agriculture**, London, v. 17, p. 249-261, 1997.
- UYSAL, M.; EL ROUBI, M.S.; Artificial neural networks versus multiple regressions in tourism demand analysis. **Journal of Travel Research**, Boulder, v.38, n.2, p.111-118, nov.1999.
- WISMANS, W.M.G. Identification and registration of animals in the European Union. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v.24, n.2, p.99-108, 1999.
- XIN, H. Assessing swine thermal comfort by image analysis of postural behaviors. **Journal of Animal Science**, v.77, n.1, suppl. 2, p.1-9, 1999.
- XIN, H.; SHAO, J Real-time Assessment of Swine Thermal Comfort by Computer Vision. In: World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, 2., Foz do Iguaçu, 2002. **Proceedings**. Foz do Iguaçu: ASAE, 2002. p.362-369.
- XIN, H.; GATES, RS.; WHELLER, EF. Quantification of ammonia emissions from U.S. poultry houses. In: Seminário de Poluentes Aéreos e Ruídos em Instalações para Produção de Animais, Campinas, 2002. **Anais**. Campinas: FEAGRI, 2002. p. 25-32.
- XIN, J.; BECK, H.; HALSEY, L.; FLETCHER, J.; ZAZUETA, F. Using Digital Cameras and the Internet to Identify Plant Insect and Disease Problems. In: International Conference on Computers in Agriculture, 17., Orlando, 1998. **Proceedings**. Orlando: ASAE, 1998. p.327-329.

- YANAGI JUNIOR, T.; XIN, H.; GATES, R. S. ; FERREIRA,L. Fuzzy logic model to predict laying hen body temperature rise during acute heat stress. In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2006, João Pessoa. SBEA, 2006. v. 35
- YO, T.; VILARIÑO, M.; FAURE, J.M.; PICARD, M. Feed pecking in young chickens: new techniques of evaluation. **Physiology and Behavior**, Amsterdam, v. 61 n. 6, p 803-810, 1997.
- ZADEH, L.A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v.18, p. 338-353, 1965.
- ZADEH, L.A. Outline of a new approach to the analysis of complex system and decision processes. **IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics**, v.3, p.25-44, 1973.
- ZURADA, J.M. **Introduction to artificial neural systems**. St. Paul: West Publishing Company, 1992. 683p.