

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE  
UM MODELO MATEMÁTICO PARA O  
CÁLCULO DA ÁREA SUPERFICIAL DE  
FRANGOS DE CORTE**

**EBERSON SILVA**

**2007**

**EBERSON SILVA**

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM  
MODELO MATEMÁTICO PARA O CÁLCULO DA  
ÁREA SUPERFICIAL DE FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções e Ambiente, para a obtenção do título de “Mestre”.

**Orientador**

**Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007**

Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA

Silva, Eberson.

Desenvolvimento e validação de um modelo matemático para cálculo da área superficial de frangos de corte / Eberson Silva. - Lavras: UFLA, 2007. 44 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2007.

Orientador: Tadayuki Yanagi Junior.

Bibliografia.

1. Análise de imagens. 2. Frangos de corte. 3. Técnica de *moiré*. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.513

**EBERSON SILVA**

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM  
MODELO MATEMÁTICO PARA O CÁLCULO DA  
ÁREA SUPERFICIAL DE FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções e Ambiente, para a obtenção do título de “Mestre”.

**APROVADA em 12 de novembro de 2007**

<b>Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior</b>	<b>UFLA</b>
<b>Prof. Dr. Marcos Aurélio Lopes</b>	<b>UFLA</b>
<b>Prof. Dr. Francisco Carlos Gomes</b>	<b>UFLA</b>
<b>Prof. Dr. Alessandro Torres Campos</b>	<b>UFVJM</b>

**Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior**

**UFLA**

**(Orientador)**

**LAVRAS**

**MINAS GERAIS – BRASIL**

Aos meus pais, Francisco (*in memoriam*) e Ana Maria,  
pela educação, perseverança e ensinamentos constantes,

**OFEREÇO**

*Aos meus irmãos, minha família e minha companheira Luciene, pelo apoio e por  
ter torcido constantemente pelas minhas conquistas e vitórias,*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por olhar sempre por mim, abrindo as portas do meu caminho e promovendo oportunidade para o término desta etapa.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), por meio do Departamento de Engenharia, pela oportunidade e por ter acreditado no meu potencial de terminar com êxito este mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Tadayuki Yanagi Junior, pela competência dos ensinamentos, companheirismo, amizade, dedicação e profissionalismo exemplar, demonstrando confiança e estímulo durante a realização desta dissertação.

Aos amigos do grupo de pesquisa de ambiência da UFLA, Gleice, Flávio, Luiz, Leonardo, Leandro e Alan, pelo companheirismo demonstrado continuamente.

À banca examinadora, composta pelos professores Roberto Alves Braga Júnior, Marcos Aurélio Lopes, Francisco Carlos Gomes, Alessandro Torres Campos, pela participação, procedentes correções e sábias e oportunas sugestões que possibilitaram a conclusão deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, pelo zelo e competência com que desempenham suas atividades.

Aos colegas que estiveram sempre presente nas horas boas e também nas horas difíceis, torcendo por mim, Ivan, Vanderley, Jessé, João Ricardo, Guilherme, Ferreira, Rodrigo, Karina, Edvania, Kátia e Kleber, pela grande amizade.

Ao setor de Produção Animal do Departamento de Zootecnia (DZO), pelo apoio logístico e concessão de ração indispensável à condução deste experimento, especialmente ao Prof. Eduardo Pinto Filgueiras, chefe do DZO e ao Borginho, responsável pela chefia do setor.

Aos proprietários e funcionários da granja Nogueira Rivelli Alimentos, pelo apoio e atenção, fornecendo os animais indispensáveis ao desenvolvimento deste experimento.

Ao povo brasileiro que, por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pesquisa de Nível Superior, a Capes, financiou os meus estudos por meio da concessão de uma bolsa.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento deste projeto de pesquisa.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram por mais essa importante conquista pessoal.

*Muito obrigado*

## **BIOGRAFIA**

EBERSON SILVA, filho de Francisco de Assis Justino Silva e Ana Maria da Silva, nasceu na cidade de Passos, MG, em 23 de Janeiro de 1977, onde se formou em Engenharia Agrônômica pela Faculdade de Engenharia de Passos (FEP/UEMG *Campus de Passos*), em dezembro de 2005. Durante a graduação, foi monitor da disciplina de topografia nos cursos de Agronomia e Engenharia Civil da FEP. Prestou serviços como auxiliar de topógrafo pela Engenharia de projetos (GEOMAPA) Ltda. Foi membro do centro acadêmico da FEP no curso de agronomia, em 2004 e 2005. Em março de 2006, iniciou o mestrado em Engenharia Agrícola na UFLA, realizando seus estudos na área de Construções e Ambiência.



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.2 A MODELAGEM MATEMÁTICA NA AMBIÊNCIA AVÍCOLA .....	5
2.3 MODELOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E MASSA APLICADOS ÀS AVES .....	7
2.4 MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA ÁREA SUPERFICIAL DE AVES .....	11
2.4.1 MÉTODO CONVENCIONAL .....	11
2.4.2 MÉTODOS ALTERNATIVOS .....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	16
3.1 MANEJO DOS ANIMAIS E COLETA DE DADOS .....	16
3.2 MÉTODO CONVENCIONAL .....	16
3.3.1 ARRANJO EXPERIMENTAL PARA A CAPTURA DAS IMAGENS .....	17
3.3.2 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS .....	20
3.3.2.1 GERAÇÃO DA IMAGEM TRIDIMENSIONAL .....	21
3.3.2.2 DETERMINAÇÃO DA ÁREA SUPERFICIAL .....	21
3.3.3 CALIBRAÇÃO .....	24
3.3.4 VALIDAÇÃO .....	24
3.4 AJUSTE DO MODELO EMPÍRICO PARA CÁLCULO DA ÁREA SUPERFICIAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
4.1 DETERMINAÇÃO DA ÁREA SUPERFICIAL .....	26
4.1.1 MÉTODO CONVENCIONAL .....	26
4.1.2 TÉCNICA DE <i>MOIRÉ</i> .....	30
4.1.2.1 CALIBRAÇÃO .....	30
4.1.2.2 VALIDAÇÃO .....	34
4.2. APLICAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DA ÁREA SUPERFICIAL DE AVES .....	36
5 CONCLUSÕES .....	38
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Representação esquemática das transferências de calor e massa em uma ave.	9
FIGURA 2.	Taxonomia das técnicas (a) perfilométricas e (b) ópticas.	13
FIGURA 3.	Franjas de <i>moiré</i> produzidas pela sobreposição de duas grades.	15
FIGURA 4.	Esquema do arranjo experimental usado para captura das imagens a serem processadas pela técnica de <i>moiré</i> .	18
FIGURA 5.	Deslocamento do anteparo pela metade do animal.	19
FIGURA 6.	Exemplo de imagens capturadas (a) da ave e (b) do anteparo com a projeção da grade.	20
FIGURA 7.	Representação tridimensional da imagem de uma ave realizada no <i>Scilab</i> .	21
FIGURA 8.	Mapa de um frango de corte com eixo x e y, representado por iso-cotas gerado pelo programa <i>Surfer</i> .	22
FIGURA 9.	Imagem tridimensional da ave.	23
FIGURA 10.	Comportamento da área superficial medida e estimada pela equação 5.	27
FIGURA 11.	Área superficial estimada por meio das equações propostas por três autores e pela equação 5, do presente trabalho.	28
FIGURA 12.	Comportamento das áreas superficiais medidas e estimadas pela equação 6 de uma única pata e perna de uma ave de corte.	29
FIGURA 13.	Comportamento dos fatores de correção aplicados ao comprimento ( $F_{c,C}$ ), largura ( $F_{c,L}$ ) e altura ( $F_{c,A}$ ) das aves, com base nas equações 6, 7 e 8, respectivamente.	31

FIGURA 14.	Comportamento da área superficial determinada pela técnica de <i>moiré</i> aplicando-se os fatores de correção para o comprimento, largura e altura em relação a área superficial medida.	32
FIGURA 15.	Comparações entre os valores de áreas superficiais medidas (método convencional) e determinadas pela técnica de <i>moiré</i> aplicando os fatores de correção para comprimento, largura, altura e área superficial.	34
FIGURA 16.	Comparação entre as áreas superficiais ( $A_s$ ) determinadas pelo método convencional (medida) e técnica de <i>moiré</i> .	35

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

$A_{pp}$	Área superficial de uma única pata e perna
$A_s$	Área superficial das aves ( $m^2$ )
$A_{s,moiré-corrigida}$	Área superficial de <i>moiré</i> corrigida
$c_{p,ar}$	Calor específico do ar ( $kJ\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ )
$c_{p,w}$	Calor específico da água ( $kJ\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ )
$D$	Distância entre a câmera digital e a fonte de luz
$\frac{dt_b}{d\theta}$	Taxa de mudança de $t_b$ com o passar do tempo ( $^\circ C\ min^{-1}$ )
$F_{c,A}$	Fator de correção para a altura
$F_{c,C}$	Fator de correção para o comprimento
$F_{c,L}$	Fator de correção para a largura
$H$	Distância entre a câmera digital e o anteparo
$h_c$	Coefficiente de transferência de calor por convecção ( $W\ m^{-2}\ ^\circ C^{-1}$ )
$h_m$	Coefficiente de transferência de massa convectivo ( $m\ s^{-1}$ )
$m$	Massa corporal da ave (kg)
$M_c$	Massa corporal
$R_{bf}$	Resistência térmica do tecido da ave e penas
$\beta$	Porcentagem da área superficial da ave molhada (decimal)
$t_{ar}$	Temperatura de bulbo seco de ar ( $^\circ C$ )
$t_b$	Temperatura corporal da ave ( $^\circ C$ )
$T_{db}$	Temperatura do bulbo seco do ar
$t_{surf}$	Temperatura superficial da ave ( $^\circ C$ )
$U_{bf}$	Coefficiente global de transferência de calor do tecido corporal da ave e penas ( $m^2\ ^\circ C\ W^{-1}$ )
$UR$	Umidade relativa (%)
$v$	Velocidade do ar ( $m\ s^{-1}$ )

<b>DPV<sub>ar</sub></b>	Déficit de pressão de vapor do ar (kPa)
<b>y<sub>m</sub></b>	Coeficiente de transferência de massa (kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<b>Δt<sub>b,50m</sub></b>	Aumento da temperatura corporal medida de frangos de corte submetidos a 50 minutos de exposição térmica (°C)
<b>Δt<sub>b,50s</sub></b>	Aumento da temperatura corporal simulada de frangos de corte submetidos a 50 minutos de exposição térmica (°C)
<b>γ</b>	Constante psicométrica (kPa °C <sup>-1</sup> )
<b>ρ<sub>ar</sub></b>	Densidade do ar (kg m <sup>-3</sup> )

## RESUMO

SILVA, Ebersson. **Desenvolvimento e validação de um modelo matemático para o cálculo da área superficial de frangos de corte**. 2007. 44 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG \*

A área superficial ( $A_s$ ) de aves é um parâmetro importante no cálculo das transferências de calor e massa, sendo a sua determinação usando metodologias não destrutivas, como a técnica de *moiré* ( $TM$ ), permite a automação do processo, a eliminação da subjetividade, rapidez, além da manutenção da integridade do objeto. Dessa forma, objetivou-se, com a realização do presente trabalho, desenvolver e validar um modelo matemático empírico para estimar a área superficial de frangos de corte por meio de um método convencional e outro utilizando análise de imagens. Para a realização desta pesquisa, foram utilizadas 84 aves de corte da linhagem Ross, sendo 37 machos e 47 fêmeas, com animais abrangendo toda a fase de criação. Em cada teste realizado em laboratório, uma ave, aleatoriamente selecionada, teve as suas dimensões (comprimento, largura e altura) e massa corporal avaliadas. A ave foi iluminada com a projeção de grades que foram capturadas e processadas para a obtenção da forma do objeto pela  $TM$ . A pele com penas da ave foi retirada para a determinação da  $A_s$  usada como referência para calibração e validação da  $TM$ . Parte dos resultados dos testes foi usada para ajuste da equação para determinação da  $A_s$  e para calibração da  $TM$  e parte para validação de ambos. Os resultados mostraram que a equação empírica para determinação da  $A_s$  é estatisticamente significativa ( $P < 0,0001$ ) e apresenta coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,9886, sendo posteriormente validada pelo teste t ( $P > 0,05$ ). A  $TM$  e a análise de imagens mostraram-se adequadas para recuperação da forma tridimensional de aves e predição da  $A_s$ , mostrando-se como uma técnica biométrica não invasiva adequada ao uso em animais.

**Palavras chave:** análise de imagens, frango de corte, técnica de *moiré*.

---

\*Comitê Orientador: Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior – UFLA (Orientador), Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior – UFLA, Prof. Dr. Marcos Aurélio Lopes – UFLA.

## ABSTRACT

SILVA, Eberson. **Development and validation of a model to compute the surface area of broiler chickens**. 2007. 44 p. Dissertation (Master degree in Agricultural Engineering – Structures and Environment) Federal University of Lavras, Lavras, MG.\*

The surface area ( $A_s$ ) of poultry is an important parameter in heat and mass transfer calculation, being that its determination using non-destructive methodologies, as *moiré* technique (*TM*), allows the automation of  $A_s$  determination that results in accuracy and speed gains, besides the maintenance of the object integrity. However, it was aimed with the present work to develop and to validate an empirical model to estimate the broiler chicken's surface area through a conventional and image analysis method. Eighty four *Ross* broiler chickens were used in this research, thirty seven male and forty seven female, with body masses covering all growing phase. In the laboratory, each randomly selected chicken had its dimensions (length, width and height) and body mass evaluated. Following, the chicken was illuminated with a source of light, in which the fringes were projected, the image captured, and processed to obtain the object shape by *TM*. Finally, the chicken skin with feathers was taken off to determine  $A_s$  used as reference for *TM* calibration and validation. Part of test results was used to fit the  $A_s$  equation and to calibrate the *TM* and part was used to validate both. Results showed that the empirical equation to determine  $A_s$  is statically significant ( $P < 0.0001$ ) and presents a coefficient of determination of 0.9886, being subsequently validated via t test ( $P > 0.05$ ). *TM* and image analysis were as adequated for broiler chicken three-dimensional shape recovery and  $A_s$  determination, showing as an adequated non-invasive and non –destructive biometric technique.

**Keywords:** image analysis, broiler chicken, *moiré* technique.

---

\*Guidance Commite: Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior – UFLA (Adviser), Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior – UFLA, Prof. Dr. Marcos Aurélio Lopes – UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

A avicultura brasileira é uma das principais atividades agropecuárias do país e ocupa lugar de destaque no cenário mundial. O seu desenvolvimento teve início na década 1950 e, com o uso de novas tecnologias, o setor avícola tem adotado sistemas produtivos que possibilitam às aves expressar todo o potencial genético com baixo custo operacional, buscando, assim, o aumento da produção.

A produção anual de carne de frango deve alcançar os 10.150 milhões de toneladas, com 8,5% a mais que o produzido no ano anterior. Comparando um intervalo de 12 meses, ou seja, julho de 2006 a junho de 2007, a produção brasileira de carne de frango soma quase 9,753 milhões de toneladas e apresenta expansão de apenas 2,67% sobre os 12 meses anteriores (Pithan & Silva, 2006).

Atualmente, o país é o maior exportador de frangos de corte, tendo fechado o primeiro semestre de 2007 próximo a 1,620 milhões de toneladas, com margem de 23% a mais que no mesmo período do ano passado. Mas, espera-se que a média significativa no semestre indique embarque anual de, no mínimo, 3,240 milhões de toneladas, o que corresponde 16% a mais que o exportado em 2006 (ABEF, 2006). Esse aumento de produtividade se consegue com os ajustes das condições climáticas ambientais nas instalações agrícolas, utilizando equipamentos e sistemas que favorecem o animal a se desenvolver com facilidade sem perda na produção. Conseqüentemente, um ambiente confortável e um bom manejo sanitário terão reflexo na diminuição até mesmo do índice de mortalidade do lote de animal, porque não há como produzir frangos de corte no Brasil em alta densidade sem controle do ambiente térmico.

Mas, um ambiente no qual os frangos de corte são criados só é considerado confortável quando não ocorre nenhum desperdício de energia por parte do animal, seja para compensar o frio ou para acionar o sistema de dissipação do excesso de calor para o ambiente. Dessa forma, a ave está em



condições de conforto e, conseqüentemente, de produtividade máxima (Tinôco, 2001). As variáveis ambientais tanto podem ter efeitos positivos como negativos sobre a produção das aves. Sendo assim, altas temperaturas têm grande influência sobre a produção animal e a incidência de doenças metabólicas, como ascite e morte súbita, que resultam em perdas de produtividade, enquanto que baixas temperaturas podem melhorar o ganho de peso, mas à custa de elevada conversão alimentar (Macari & Gonzales, 1990; Deaton & Reece, 1970).

O calor sensível é o calor trocado pelas aves com o ambiente por meio dos mecanismos não evaporativos, tais como condução, convecção e radiação. Assim, a ave, para aumentar a dissipação de calor, procura maximizar a área de superfície corporal, agachando ou mantendo as asas afastadas do corpo, induzindo a piloereção e o aumento do fluxo sanguíneo para os tecidos periféricos não cobertos com penas (pés, cristas, barbela), facilitando a troca de calor sensível com o ambiente, pois o sangue tem grande capacidade de transportar calor dos tecidos até a superfície corporal (Furlan, 2006).

Por sua vez, a perda de calor latente é aquela que se produz por meio da evaporação da umidade, associada à mudança de fase da água, sendo vital quando a temperatura ambiente aproxima-se da temperatura corporal das aves (Mitchell, 1987).

Simultaneamente à experimentação, diversas pesquisas básicas envolvendo a modelagem matemática têm sido desenvolvidas para aprimorar os conhecimentos sobre os processos envolvidos nas trocas de calor e massa entre os animais e o ambiente térmico (Yanagi Junior et al., 2001).

Nesse contexto, a determinação da área superficial de frangos de corte é de extrema importância para o cálculo das transferências de calor e massa entre as aves e o ambiente ao seu redor, permitindo, assim, o dimensionamento de sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo, bem como inferir sobre o manejo das aves por meio da predição, por exemplo, da quantidade de calor e ou

umidade produzida pelas aves (Yanagi Junior, 2002; Aerts et al., 2003; Yanagi Junior et al., 2006) e da predição do aumento da temperatura corporal desses animais (Yanagi Junior et al., 2001).

A determinação da área superficial de aves de corte é de suma importância para o cálculo da quantidade de calor dissipada pelo animal para o ambiente, permitindo o projeto de sistemas de ventilação e de resfriamento evaporativo no interior de galpões avícolas.

Determinações dessa natureza possibilitam predições de cenários mais adequados à produção animal, visando obter condições mais adequadas de conforto térmico.

Com base no exposto, objetivou-se, com o presente trabalho, desenvolver e validar um modelo matemático para o cálculo da área superficial de frangos de corte por meio de um método convencional e outro baseado em análise de imagens.

Como objetivos específicos, procuraram-se: a) determinar a área superficial de frangos de corte por meio da remoção da pele da ave, com as penas; b) desenvolver e validar um modelo empírico para a predição da área superficial de frangos de corte em função da massa corporal da ave; c) acoplar a equação desenvolvida para a determinação da área superficial de frangos de corte em um modelo para o cálculo do aumento da temperatura corporal das aves e comparar os resultados com aqueles obtidos pela equação de Mitchell (1930) e d) avaliar o potencial de uso da técnica de *moiré* associada à análise de imagens como ferramenta para estimar a área superficial de frangos de corte.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A ave e o ambiente térmico

O conforto térmico, tanto de aves como de outros animais, interfere diretamente na produção, uma vez que a maioria dos caracteres de interesse está relacionada a genes poligênicos. Dessa forma, os animais selecionados para atingir alta produtividade necessitam de ambiente térmico adequado para que possam expressar todo o potencial genético pelo qual foram classificados.

De acordo com Nääs (1995), a ave é um animal homeotermo e seu organismo é mantido a uma temperatura interna aproximadamente constante, por meio do aparelho termorregulador localizado no hipotálamo, capaz de controlar a temperatura corporal utilizando mecanismos fisiológicos e respostas comportamentais, mediante a produção e liberação de calor. Mas, segundo Macari et al. (1994), as aves jovens, por não possuírem seu sistema termorregulador desenvolvido, necessitam de uma fonte externa de calor para manter a eficiência de sua temperatura corporal constante.

Assim, alguns autores citam faixas de temperatura ideal para que os animais estejam em condições de conforto e, conseqüentemente, se desenvolvam com mais facilidade. Macari et al. (2004) definem que, para pintos de 1 a 7 dias, a zona de conforto está entre 31°C e 33 °C, caindo para 21°C a 23°C na idade de 35 a 42 dias. Valores de temperatura externos a este intervalo propiciam a ocorrência de perdas na produtividade.

Outros autores, como Curtis (1983), Deaton & Reece (1970), Milligan & Winn, (1964) e Franco & Fruhauff (1997) afirmam que a temperatura deve estar em torno de 35°C, 32°C, 29°C, 26°C e 23°C, na primeira, segunda, terceira, quarta e quinta semanas, respectivamente. Relataram, ainda, que o conforto térmico nas primeiras semanas é importante por diminuir o efeito das variações térmicas do ambiente sobre o aparelho respiratório dos pintos, uma vez que o ar

com baixa temperatura deverá ser aquecido nas vias respiratórias para que a troca gasosa nos pulmões seja eficiente.

Segundo Moura (2001) e Costa (1994), aves jovens, de 10 a 15 dias, necessitam de uma fonte externa de calor que mantenha a temperatura do ar em, aproximadamente, 35°C, mantendo sua temperatura corporal entre 39°C a 40°C. A temperatura crítica superior passa de 35°C para 24°C em quatro semanas, chegando a 21°C na sexta semana de vida.

## **2.2 A modelagem matemática na ambiência avícola**

A modelagem matemática é um método de pesquisa que investiga, por meio da matemática, problemas, fenômenos ou situações das mais diferentes áreas, tais como a física, química, biologia, ciências sociais e engenharia, entre outras, consistindo, assim, em uma área de pesquisa essencialmente interdisciplinar para fazer previsões a respeito da situação ou problema investigado. Esse conjunto de relações é denominado de modelo matemático da situação ou problema estudado. Ao processo dinâmico utilizado para criar e validar tais modelos denomina-se de modelagem matemática (Bassanezzi, 2002).

A modelagem matemática tem como função avaliar a interação entre diversos fatores, permitindo o estudo mais detalhado no intuito de prever processos de interesse. O ideal é formular um modelo capaz de descrever os dados originais, sem, no entanto, dificultar sua utilização prática. Por outro lado, todo modelo matemático é uma simplificação do sistema a ser estudado e não pode contemplar todas as variáveis existentes, o que resulta numa previsão não exata da realidade. Para utilização dos modelos matemáticos, torna-se necessária a determinação de seus parâmetros empíricos por meio de experimentação implicando na necessidade de várias amostragens (Pereira & Machado, 1987).

A simulação das trocas de calor sensível e latente entre o animal e o ambiente ao seu redor é imperativa na predição das condições térmicas do ambiente interno da construção, possibilitando o dimensionamento de sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo. Por outro lado, o mesmo balanço de calor e massa desenvolvido para tais predições pode ser usado para estimar o aumento da temperatura corporal de animais, tornando possível predizer o *status* de conforto ou desconforto ao qual o animal está submetido. Essas informações são importantes no processo de tomada de decisão pelo produtor rural ou mesmo para que os engenheiros e técnicos compreendam os processos que ocorrem no sistema em questão (Yanagi Junior et al., 2001).

Diversos modelos já foram desenvolvidos visando à predição das transferências de calor entre o animal e o ambiente ao seu redor (Wathen et al., 1971; Mitchell, 1976; Mahoney & King, 1977; McArthur, 1991; Gebremedhin & Wu, 2000; Yanagi Junior, 2002; Aerts et al., 2003). Yanagi Junior (2002) desenvolveu um modelo empírico para predizer o aumento da temperatura corporal de galinhas poedeiras com base na temperatura de bulbo seco e na velocidade do ar e no déficit de pressão de vapor.

Especificamente relacionado às trocas de calor entre os animais e o ambiente, o conhecimento da área superficial torna-se necessário, pois as trocas de calor sensível e latente ocorrem através desta área. Usualmente, modelos empíricos para a determinação da área superficial em função da massa corporal são desenvolvidos, como, por exemplo, para aves (equação 1), bovinos de corte (equação 2) e bovinos leiteiros (equação 3), conforme proposto por Mitchell (1930), Esmay (1978) e Esmay & Dixon (1986), respectivamente.

$$A_{s(\text{aves})} = 8,19 \cdot M_{c,\text{aves}}^{0,705} \quad (1)$$

$$A_{s(\text{bovinos de corte})} = 0,12 \cdot M_{c,\text{bovino}}^{0,6} \quad (2)$$

$$A_{s(\text{bovinos de leite})} = 0,15 \cdot M_{c,\text{bovino}}^{0,56} \quad (3)$$

em que:

$A_{s(\text{animal})}$ : é a área superficial de um animal específico ( $\text{cm}^2$ );

$M_{c,\text{animal}}$ : é a massa corporal de um animal específico (g, exceto para bovinos, que é kg).

### **2.3 Modelos de transferência de calor e massa aplicados às aves**

Vários modelos matemáticos com base em equações de transferência de calor e massa têm sido usados para predição do calor sensível e ou latente produzido pelas aves (Wathen et al., 1971; Mitchell, 1976; Mahoney & King, 1977; McArtur, 1991), bem como modelos para otimizar alguns sistemas de resfriamento evaporativo (Gates et al., 1991; Gates et al., 1992; Singletary et al., 1996; Simmons & Lott, 1996). Para esse último caso, o interesse específico é a quantificação do estresse térmico ao qual a ave está sujeita, propiciando que as predições possam dar suporte à tomada de decisão por parte do produtor, podendo, ainda, ser implementada em controladores de sistemas de aquecimento ou arrefecimento em granjas comerciais. Modelos foram propostos também para prever a transferência de calor e ou massa em instalações agrícolas e foram apresentados por inúmeros autores, como Medeiros (1997), Gebremedhin & Wu (2000), Yanagi Junior et al. (2001) e Aerts et al. (2003).

Severo et al. (2003) desenvolveram um programa computacional para a predição do ambiente térmico no interior de galpões por meio do ITGU. Dessa forma, facilita o trabalho do produtor ao ajustar o manejo do sistema de arrefecimento, o que garante melhores condições de conforto térmico para que os animais possam se desenvolver adequadamente no decorrer do ano, sem estresse térmico.

Apesar de existirem alguns modelos de transferência de calor e ou massa aplicados às aves (Mitchell, 1976; Mahoney & King, 1977; McArthur, 1991; Yanagi Junior, 2002; Aerts et al., 2003), o modelo desenvolvido por Yanagi Junior (2002) será descrito resumidamente por abranger ambos, transferências de calor e massa entre a ave e o ambiente ao seu redor.

Para o desenvolvimento do modelo, Yanagi Junior (2002) estabeleceu as seguintes considerações: a) a ave possui o corpo na forma de esfera; b) as trocas de calor entre a ave e o ambiente ao seu redor são dinâmicas e unidimensionais; c) o calor específico do corpo da ave é igual ao da água, d) a troca de calor por radiação é desprezível e e) a ave é considerada como um núcleo isotérmico simples rodeado por uma camada isolante. Na Figura 1 estão ilustradas as trocas de calor entre a ave e o ambiente ao seu redor. Os pontos representam posições com temperaturas conhecidas e o símbolo de resistor indica a resistência térmica global entre o núcleo da ave e a superfície das penas.

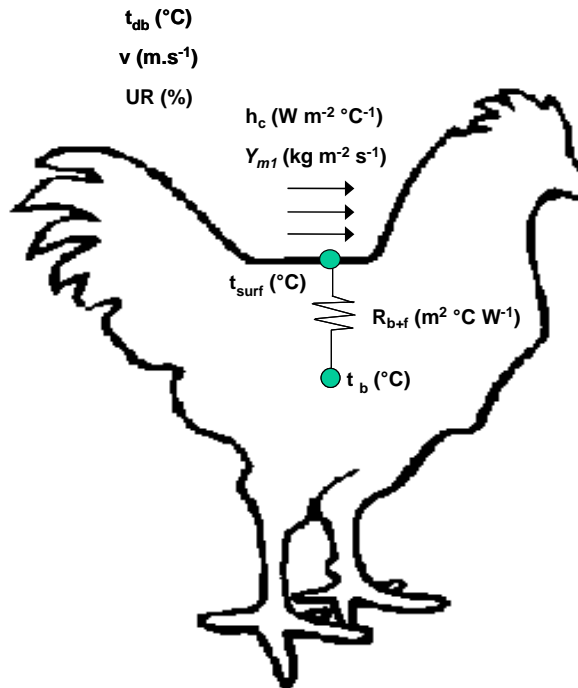


FIGURA 1. Representação das transferências de calor e massa em uma ave. Sendo:  $t_{db}$  = temperatura de bulbo seco do ar;  $v$  = velocidade do ar; UR = umidade relativa;  $h_c$  = coeficiente de transferência de calor por convecção;  $y_{ml}$  = coeficiente de transferência de massa;  $t_{surf}$  = temperatura superficial da ave;  $R_{b+f}$  = resistência térmica do tecido da ave e penas e  $t_b$  = temperatura corporal da ave. Fonte: adaptado de Yanagi Junior (2002).

O balanço de calor e massa entre uma ave e o ambiente, negligenciando a radiação térmica, de acordo com Yanagi Junior (2002), pode ser escrito da seguinte forma:

$$U_{bf} \cdot A_s \cdot (t_b - t_{surf}) - h_c \cdot A_s \cdot (t_{surf} - t_{ar}) - \frac{h_m \cdot \beta \cdot A \cdot \rho_{ar} \cdot c_{p,ar} \cdot VPD_{ar}}{\gamma} = m \cdot c_{p,w} \frac{dt_b}{d\theta} \quad (4)$$



em que:

$U_{bf}$ : coeficiente global de transferência de calor do tecido corporal da ave e penas ( $W m^{-2} °C^{-1}$ );

$A_s$ : área superficial da ave ( $m^2$ );

$t_b$ : temperatura corporal da ave ( $°C$ );

$t_{surf}$ : temperatura superficial da ave ( $°C$ );

$h_c$ : coeficiente de transferência de calor por convecção ( $W m^{-2} °C^{-1}$ );

$t_{ar}$ : temperatura de bulbo seco de ar ( $°C$ );

$h_m$ : coeficiente de transferência de massa convectivo ( $m.s^{-1}$ );

$\beta$ : percentagem da área superficial da ave molhada (decimal);

$\rho_{ar}$ : densidade do ar ( $kg m^{-3}$ );

$c_{p,ar}$ : calor específico do ar ( $kJ kg^{-1} °C^{-1}$ );

$DPV_{ar}$ : déficit de pressão de vapor do ar (kPa);

$\gamma$ : constante psicométrica ( $kPa °C^{-1}$ );

$m$ : massa corporal da ave (kg);

$c_{p,w}$ : calor específico da água ( $kJ kg^{-1} °C^{-1}$ );

$\frac{dt_b}{d\theta}$ : taxa de mudança de  $t_b$  com o passar do tempo ( $°C min^{-1}$ ).

Na equação 4, a área superficial foi determinada por meio da equação 1, proposta por (Mitchell, 1930). Maiores detalhes do modelo podem ser obtidos em Yanagi Junior (2002).

## **2.4 Métodos para determinação da área superficial de aves**

### **2.4.1 Método convencional**

Dentre os métodos convencionais para determinar a área superficial de animais, podem-se citar o escalpelamento e o uso de moldes à base de gases que são aderidos a superfície do animal para posterior cálculo da área. Ambos exigem o sacrifício do animal (Mitchell, 1930). Independente do método, convencional ou alternativo, é imperativo ressaltar a importância do jejum pré-abate de 8 a 12 horas, para que a quantidade de alimentos no trato gastrointestinal das aves não comprometa os resultados (Mendes, 2001).

Mitchell (1930) desenvolveu um modelo empírico (equação 1) para cálculo da área superficial de aves de ambos os sexos, com base em dados obtidos pelo uso de moldes à base de gases. Essa equação 1 é uma melhoria por meio da equação de Meeh e, aparentemente, não pode ser melhorada pela introdução de um fator que define condição de nutrição dos animais.

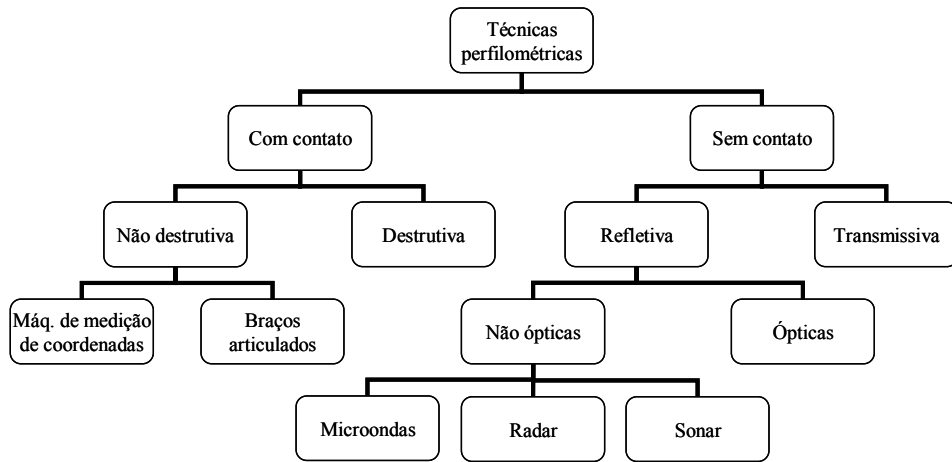
O melhoramento genético, ao longo dos anos, tem buscado obter aves mais pesadas, com maiores ganhos de pesos diários, melhor conversão alimentar e maiores deposições de carne na carcaça, melhorando, assim, o rendimento e tendo como consequência um menor tempo de abate. Devido ao melhoramento genético, as equações ajustadas anteriormente podem não fornecer resultados adequados, havendo a necessidade de se ajustar novas equações para as linhagens existentes atualmente ou, até mesmo, propor novas metodologias para que se possa melhorar a precisão na determinação da área superficial das aves. Apesar de o método convencional fornecer resultados satisfatórios, as metodologias alternativas de determinação da área superficial de animais em que não seja necessário o sacrifício das aves são mais adequadas, devido às exigências atuais de bem-estar animal, além da eliminação da perda de espécies e a automação do processo.

#### **2.4.2 Métodos alternativos**

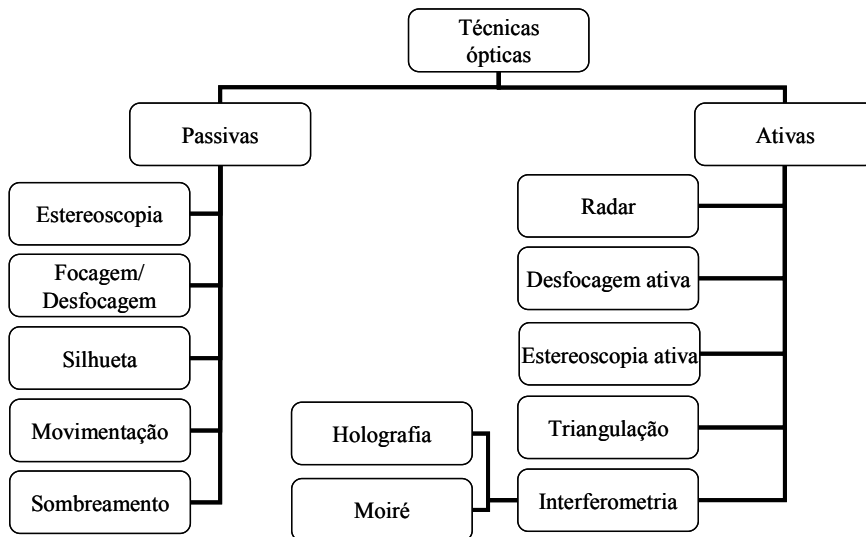
Diversos métodos baseados em análise de imagens podem ser utilizados para determinação da área superficial de animais, tendo estes, conforme citado anteriormente, a vantagem de não exigirem o sacrifício dos mesmos.

A aquisição, a análise e a recuperação da forma de superfície de objetos podem ser obtidas por meio de diversos métodos envolvendo técnicas perfilométricas (Figura 2a) e ópticas (Figura 2b).

Entretanto, dentre os métodos citados, os ópticos são os mais utilizados e apresentam a vantagem de não necessitar de contato com o objeto alvo, não serem destrutivos, serem rápidos e de alta precisão (Hu, 2001; Lino, 2002; Oliveira, 2006).



(a)



(b)

FIGURA 2. Taxonomia das técnicas (a) perfilométricas e (b) ópticas.  
 Fonte: adaptado de SIGGRAPH (1999).

Dentre as técnicas ópticas, a *TM* se destaca por ser de baixo custo, além de possuir características inerentes às técnicas ópticas citadas anteriormente. Assundi & Yung (1991) definem as *TM* como sendo um conjunto de técnicas versáteis baseadas no fenômeno de *moiré*, as técnicas usadas para medição de deformação no plano e fora do plano, contornos topográficos, inclinações, curvaturas e formas dos objetos.

De acordo com Sciammarella (1982), a palavra “*moiré*”, originada da língua francesa, significa molhado e denomina um tecido de seda importado da antiga China. Este tecido, composto por duas camadas, quando apresenta movimento relativo entre essas camadas, produz padrões semelhantes a ondas, que são denominadas de franjas de *moiré* (Figura 3).

Assundi (1998) salientou que todas as *TM* fornecem a mesma informação e podem ser interpretadas da mesma maneira. A diferença entre elas reside nos métodos óticos utilizados para a formação das franjas de *moiré*.

Hu (2001) afirma que as *TM* de sombra e projeção são as técnicas perfilométricas mais comumente utilizadas, devido, principalmente, à sua simplicidade e rapidez de medição; por isso têm sido alvo de freqüentes estudos e vários tipos de aplicações. Ademais, permitem um contraste melhor das imagens, por facilitar a visualização das franjas e também por possibilitar o deslocamento do anteparo após a retirada da imagem de interesse para posterior geração de superfície irregular.

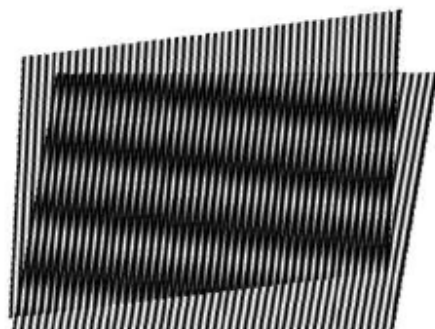


FIGURA 3. Franjas de *moiré* produzidas pela sobreposição de duas grades.

Diversos exemplos de aplicações das *TM* podem ser citados. Inicialmente, na medicina, a *TM* foi utilizada por Neugebauer & Windischbauer (1982) na pesquisa de escoliose da espinha humana, por Benoston (1997) em estudos de obesidade e por Keratron (2000), para estudar a córnea humana. Na agropecuária, Funnel & Decraemer (1998) usaram esta técnica no estudo da topografia de tímpanos de gatos. Lino (2002) utilizou a *TM* de sombra para criar modelos digitais da superfície de uma pêssego e Shitakubo et al. (2003) a utilizaram para modelar características físicas de peixes. Além desses, Zwemer et al. (2000) e Wang & Hassell (2000) usaram a *TM* de sombra para inspeção automática de circuitos impressos na linha de produção e Gomes (2005) propôs uma técnica de calibração dos perfis obtidos após aplicação da *TM*.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Manejo dos animais e coleta de dados

Aves da linhagem Ross foram obtidas em granjas comerciais de criação de frangos de corte pertencentes a uma integradora localizada na região de Barbacena, estado de Minas Gerais, totalizando 84 aves. As aves, machos e fêmeas, foram capturadas em diversos galpões gerenciados pela integradora, abrangendo toda a fase de criação de 1 a 42 dias, sendo um grupo por cada semana de criação (1 a 7 semanas).

O experimento foi conduzido no setor de Construções e Ambiente, do Departamento de Engenharia (DEG) e no Setor de Produção Animal do Departamento de Zootecnia (DZO) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Parte das aves, com idade inferior a 3 semanas, foi transportada e alojada no departamento de engenharia e o restante foi alojado em um galpão experimental situado no Setor de Produção Animal do DZO. Durante o período de espera para a realização dos testes, as aves receberam ração balanceada e água *ad libitum*.

#### 3.2 Método convencional

Para a determinação da área superficial de frangos de corte pelo método convencional, cada ave, selecionada aleatoriamente por faixa etária, foi submetida a um jejum de 8 a 12 horas, para que a alimentação contida no trato digestivo não influenciasse na sua massa corporal (Mendes, 2001 e Denadai et al. 2002). Após o jejum, a ave foi pesada em uma balança digital com precisão  $\pm 0,05$  g.

Em seguida, diversas imagens da ave foram obtidas, por meio de uma câmera digital, para aplicação da técnica de *moiré*. Após esta fase, a ave foi sacrificada por destroncamento cervical para minimizar o sofrimento e sua pele com penas foi retirada com a utilização de um bisturi cirúrgico.

Posteriormente, a pele da ave com penas foi colocada sobre uma placa de compensado com dimensões de 1 m de largura e 1 m de comprimento, resultando em uma área total de 1 m<sup>2</sup>. A placa foi forrada com couro sintético preto e a pele da ave com penas foi fixada com alfinetes. Ao seu lado, colocaram-se réguas que serviram de referência na calibração das imagens digitais; as réguas foram dispostas de forma perpendicular para detectar alguma distorção entre os eixos horizontal e vertical, devido ao ângulo da câmera. As imagens foram capturadas por meio da vista superior, possibilitando melhor visualização das imagens na fase de processamento. As imagens digitais foram obtidas por meio de uma câmera digital com resolução máxima de 5.2 *Mega pixels* e *zoom* digital de 3 vezes, sendo importadas ao programa Autocad® 2006 (Autodesk, 2005) para o cálculo da área superficial. O ajuste da imagem para escala 1:1, na unidade centímetros, foi realizado por meio do comando *SCALE* e a área foi determinada pelo comando *AREA*.

### **3.3 Análise de imagens usando a técnica de *moiré***

#### **3.3.1 Arranjo experimental para a captura das imagens**

O arranjo experimental foi composto por uma fonte de luz (projetor de slides equipado com lâmpada de 150 W) usada para projetar a grade, um anteparo com fundo preto fosco e uma câmera digital (resolução de 5.1 *Megapixels*, *zoom* digital de 6 vezes e ótico de 3 vezes) (Figura 4). A distância entre a câmera digital e o anteparo (H) foi de 2,15 m e, entre a câmera digital e a fonte de luz (D), foi de 0,53 m.



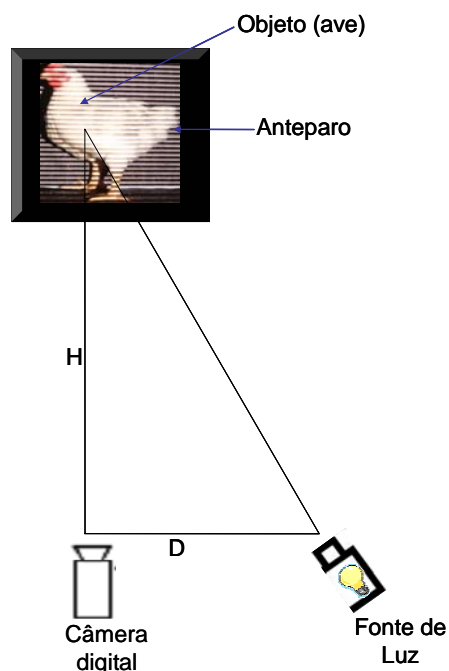


FIGURA 4. Arranjo experimental usado para captura das imagens a serem processadas pela técnica de *moiré*.

A grade projetada pela fonte de luz sobre o anteparo abrangia uma área de  $0,4788 \text{ m}^2$  (altura de  $0,57 \text{ m}$  e comprimento de  $0,84 \text{ m}$ ). A distância entre o anteparo e o animal é zero ( $0$ ), tendo o animal sido colocado bem rente ao anteparo para um bom contraste das imagens após serem processadas. As imagens das aves com massa corporal inferiores a  $446,6 \text{ g}$  foram adquiridas ajustando-se a câmera digital para um *zoom* de  $3,3$  vezes.

Mas, foi necessário trabalhar com esse *zoom* de  $3,3$  em animais jovens porque quando se transportava a matriz gerada pelo *Scilab*, ela não rodou no programa *Surfer* para o início do cálculo de área superficial. Essa limitação deve-se à quantidade de colunas disponível no software utilizado. O foco da câmera corresponde a uma área de captura de imagem de  $0,276 \text{ m}^2$  ( $0,46 \text{ m}$  de

comprimento e 0,60 de altura). Para as aves com massas corporais maiores que 446,6 g, o *zoom* da câmera foi ajustado para 1,7 vez, o que corresponde a uma área de captura de imagem de 1,0904 m<sup>2</sup> (0,94 m de comprimento e 1,16 m de altura).

As grades foram geradas no programa Autocad® 2006 (Autodesk, 2005), com espaçamento de 0,2 mm entre franjas e foram plotadas em uma impressora a laser (resolução de 600 dpi). A grade foi então projetada sobre a ave, sendo caracterizada como retículo modelo (Rm) e, em seguida, foi projetada sobre o anteparo sem a ave, gerando o retículo de referência (Rr), que teve o anteparo deslocado em direção à câmera digital pela metade da largura do animal (Figura 5). As imagens capturadas do objeto e do anteparo, respectivamente, para posterior análise no *Scilab*, estão ilustradas nas Figuras 6a e 6b.

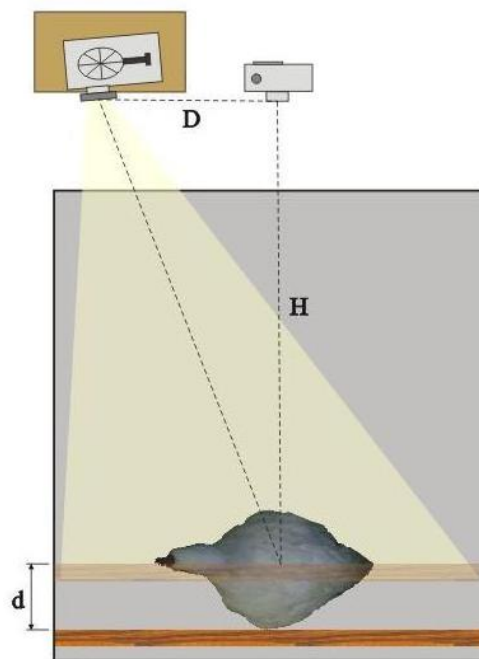


FIGURA 5. Deslocamento do anteparo pela metade do animal.

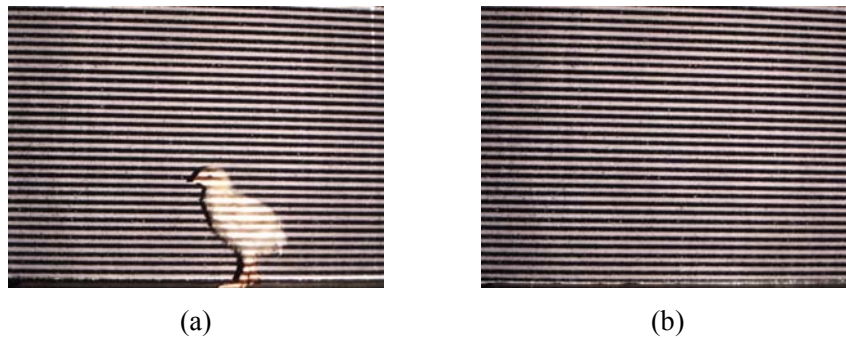


FIGURA 6. Exemplo de imagens capturadas (a) da ave e (b) do anteparo com a projeção da grade.

### 3.3.2 Processamento das imagens

As imagens do experimento foram processadas pelo programa do *Microsoft® Paint*, passando pelo processo de *phase shift*. A partir da imagem original do plano, fez-se a defasagem de quatro grades, ou seja,  $\frac{1}{4}$ , deslocando-se as imagens manualmente, de acordo com a quantidade de *pixels* contida no passo de cada grade.

O processo de *phase shift* foi realizado por meio da opção *exibir-mostrar grade* e, logo em seguida, contou-se o número de *pixels* existentes no intervalo de uma franja a outra. Esse valor era dividido por quatro, dando origem à quantidade de *pixels* necessários a cada deslocamento para gerar um novo plano. Dessa forma, três imagens defasadas de  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  da imagem original eram geradas, dando origem a quatro planos defasados de  $\frac{1}{4}$ , sendo o primeiro deslocamento o próprio plano.

### 3.3.2.1 Geração da imagem tridimensional

As imagens pré-processadas foram usadas como dados de entrada de uma função desenvolvida para a plataforma *Scilab TM*, para a geração da imagem tridimensional da ave (Figura 7). Nesse processamento, fez-se uso da *toolbox Scilab Image Processing*, obtida no endereço eletrônico <http://sourceforge.net/projects/siptoolbox>.

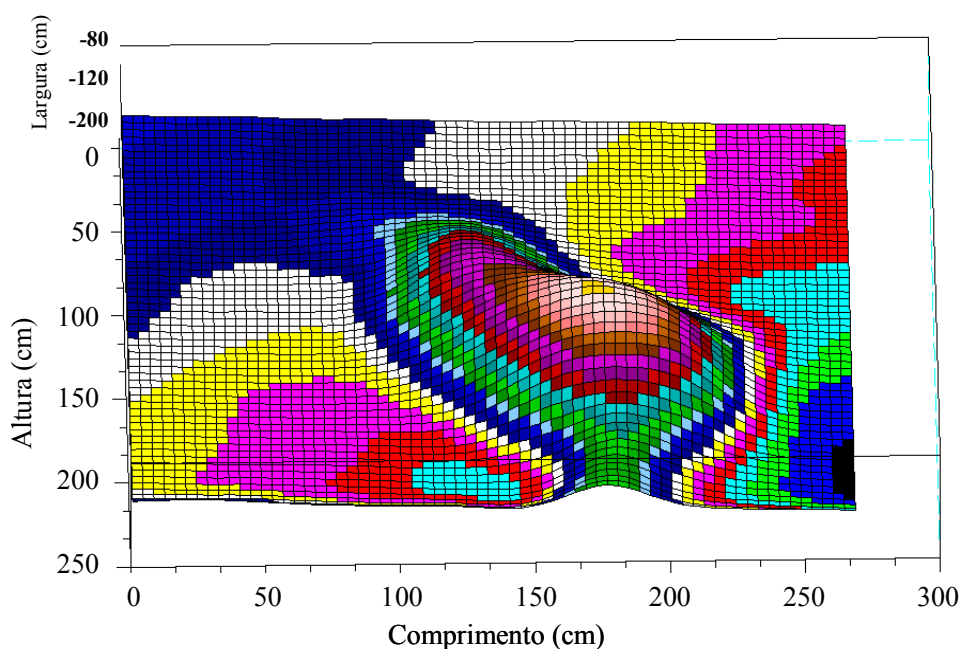


FIGURA 7. Representação tridimensional da imagem de uma ave, realizada no *Scilab*.

### 3.3.2.2 Determinação da área superficial

Para determinar a área superficial das aves utilizou-se o programa *Surfer®* (*Golden Software, Inc.*). Inicialmente, importou-se (usando as opções copiar e colar do *MS Windows®*) a matriz de dados com as coordenadas x, y e z correspondentes ao comprimento, altura e largura da ave, que foram geradas

pelo *Scilab* em arquivos tipo texto (*txt*) para dentro de uma nova planilha por meio do botão *New Worksheet*. Essa nova planilha foi salva com extensão do *MS Excel* (*xls*). Em seguida, acessou-se o comando *Grid – Data*, selecionando o arquivo gerado na etapa anterior e procedendo-se ao teste estatístico das colunas *x*, *y* e *z*, gerando um arquivo de saída (*grd*) com a malha de dados. Os resultados dos testes estatísticos foram salvos na forma de *rich text* (*rtf*).

Posteriormente, acessava-se o menu *Map – Surface* e selecionava-se o arquivo com extensão *grd* que, após processado, gerava o mapa tridimensional da ave que era salvo com extensão *sfr* (*Surfer files*). Um gráfico de iso-cotas (Figura 8) era gerado acessando-se *Map – Contour Map – New Contour Map*, no qual o arquivo com extensão *grd* deve ser selecionado e aberto. Nessa etapa, a imagem gerada possuía além da ave, uma superfície ao seu redor.

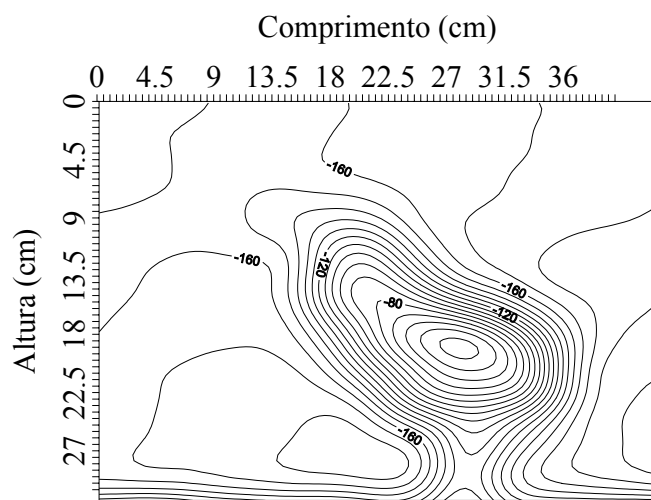


FIGURA 8. Mapa de um frango de corte com eixo *x* e *y*, representado por iso-cotas, gerado pelo programa *Surfer*.

Para eliminar a superfície excedente, selecionava-se o mapa de iso-cotas, acionando-se a opção *Map – Digitize* no *menu* principal e selecionava-se a área

de interesse da imagem com os pontos sobre a linha de cota de interesse. Uma tela era aberta, indicando as coordenadas selecionadas e, depois de encerrado o processo de demarcação da área de interesse, deveria ser salva na forma de *boundary files*, recebendo a extensão *bln*.

Para a determinação da área superficial da ave, criava-se uma nova *planilha*, por meio do botão *New Worksheet* e abria-se o arquivo gerado na etapa anterior, substituindo-se o valor da coluna B1 de 1 para 0 e salvando sobre o anterior. Após o arquivo ser fechado, acessava-se, no *menu* principal, a opção *Grid – Blank*, selecionando e abrindo o arquivo *grd* e, em seguida, selecionando e abrindo o arquivo com extensão *bln*. Na seqüência, salvava-se o arquivo de saída da malha com extensão *grd* e acessava-se a opção *Map – Surface* para gerar a imagem tridimensional apenas da ave (Figura 9), ou seja, eliminando a superfície ao seu redor, que deveria ser salva com extensão *sf*.

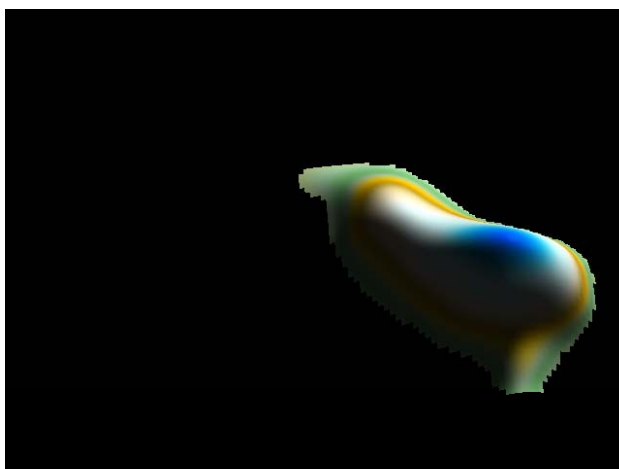


FIGURA 9. Imagem tridimensional da ave.

Finalmente, acessava-se a opção *Grid – Volume* no *menu* principal, selecionando e abrindo o arquivo gerado na etapa anterior que, após processado, apresentava uma tela com relatório sobre a área e o volume da ave. O resultado

era apresentado por meio da variável *Negative Surface Area*, e poderia ser salvo na forma de arquivo do tipo *rich text* (rtf).

### **3.3.3 Calibração**

Para calibração da técnica de *moiré*, utilizaram-se 44 aves, machos e fêmeas, distribuídas por faixa de peso sobre toda a fase de criação. Inicialmente, processaram-se as imagens sem aplicar quaisquer fatores de correção. Em seguida, ajustaram-se equações empíricas para correção das dimensões comprimento, largura e altura e processaram-se todas as imagens novamente. Depois da análise dos resultados, avaliava-se a necessidade de se ajustar uma equação empírica para fazer a correção da área superficial.

### **3.3.4 Validação**

Após a calibração da técnica de *moiré* realizou-se a validação com base nos resultados de áreas superficiais de 21 aves, machos e fêmeas. Os resultados de área superficial estimados pela técnica de *moiré* foram comparados aos valores determinados pelo método convencional, considerados como referência, por meio do teste t.

## **3.4 Ajuste do modelo empírico para cálculo da área superficial e análises estatísticas**

Com base nos pares de dados de massa corporal e área superficial ou área de uma única pata e perna das aves, determinadas pela técnica convencional, ajustaram-se modelos empíricos por meio da sub-rotina PROC REG do SAS® (SAS, 2001). A significância dos modelos e de cada coeficiente das equações foi avaliada pelos testes F e t, respectivamente. Para validação, os resultados dos modelos empíricos foram comparados aos valores de área superficial, medidos por meio do teste t.

A equação empírica para cálculo da área superficial obtida neste trabalho foi, em seguida, acoplada ao modelo para predição do aumento da temperatura corporal de frangos de corte aos 50 minutos de exposição térmica para verificar a sua influência sobre o modelo e para comparar com aquela proposta por Mitchell (1930).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Determinação da área superficial

#### 4.1.1 Método convencional

Por meio de uma análise estatística preliminar verificou-se que não existe diferença estatística significativa entre as áreas superficiais determinadas para frangos machos e fêmeas de corte (teste t,  $P=0,1938$ ). Dessa forma, apenas uma equação para determinação da área superficial em função da massa corporal da ave foi ajustada (equação 5), resultando em um valor de coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,9886. Os valores antecidos do sinal positivo/negativo ( $\pm$ ) correspondem aos erros padrões de cada coeficiente ajustado. A expressão ajustada é estatisticamente significativa (teste F,  $P<0,0001$ ), proporcionando erro médio de  $6,34\pm 5,13\text{cm}^2$ . O comportamento da área superficial medida e estimada pela técnica equação 5 está ilustrado na Figura 10, na qual se pode observar a boa concordância entre as áreas superficiais medidas e estimadas.

$$A_s = 3,86\pm 1,06 M_c^{0,74\pm 0,01} \quad (5)$$

em que:

$A_s$ : área superficial de um frango de corte ( $\text{cm}^2$ );

$M_c$ : massa corporal da ave (g)

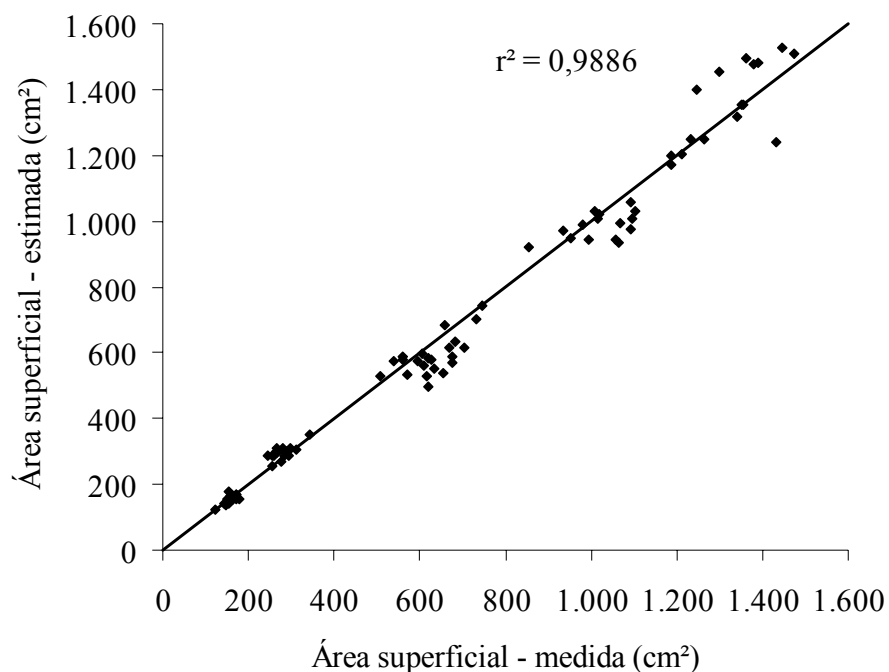


FIGURA 10. Comportamento da área superficial medida e estimada pela equação 5.

Como está ilustrado na Figura 11, verifica-se que a estimativa da área superficial pelo modelo proposto é inferior à dos demais modelos, e a diferença aumenta com o aumento da massa corporal da ave. Este comportamento tem-se, como hipótese, aos seguintes aspectos: a) diferenças na estrutura física devido à evolução genética ou à própria linhagem usada nas avaliações e b) diferenças relativas às metodologias empregadas para a determinação da área superficial. Dentre as diferenças devido à estrutura física podem-se citar, principalmente, os tamanhos da barbela e crista e a quantidade e distribuição de penas.

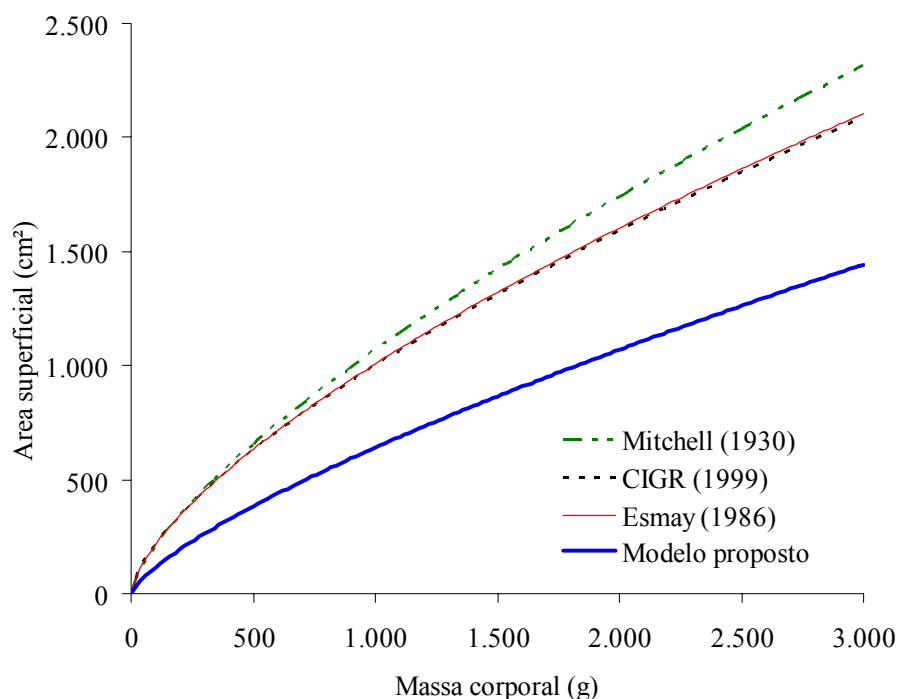


FIGURA 11. Área superficial estimada por meio de equações propostas por três autores e pela equação 5 do presente trabalho.

Uma equação empírica para estimar a área superficial de patas e pernas da ave (equação 6) também foi ajustada, motivado pela importância comercial da pele como matéria-prima na indústria para o processamento da pele de pernas e pés, na produção de pulseiras para relógios e carteiras, etc. A equação ajustada foi estatisticamente significativa (teste F,  $P < 0,0001$ ), com  $r^2$  igual a 0,9729. Devido ao tamanho de cristas e as barbelas das aves utilizadas neste trabalho serem pequenas e não desenvolvidas, o cálculo da área da mesma foi desprezível.

$$A_{pp} = 0,42 \pm 1,09 M_c^{0,69 \pm 0,01} \quad (6)$$

em que,

$A_{pp}$  = área superficial de uma única pata e perna ( $\text{cm}^2$ )

O gráfico da Figura 12 ilustra o comportamento das áreas superficiais de patas e pernas de aves medidas e estimadas pela equação 6, resultando em um erro médio de  $10,28 \pm 7,53 \text{ cm}^2$ .

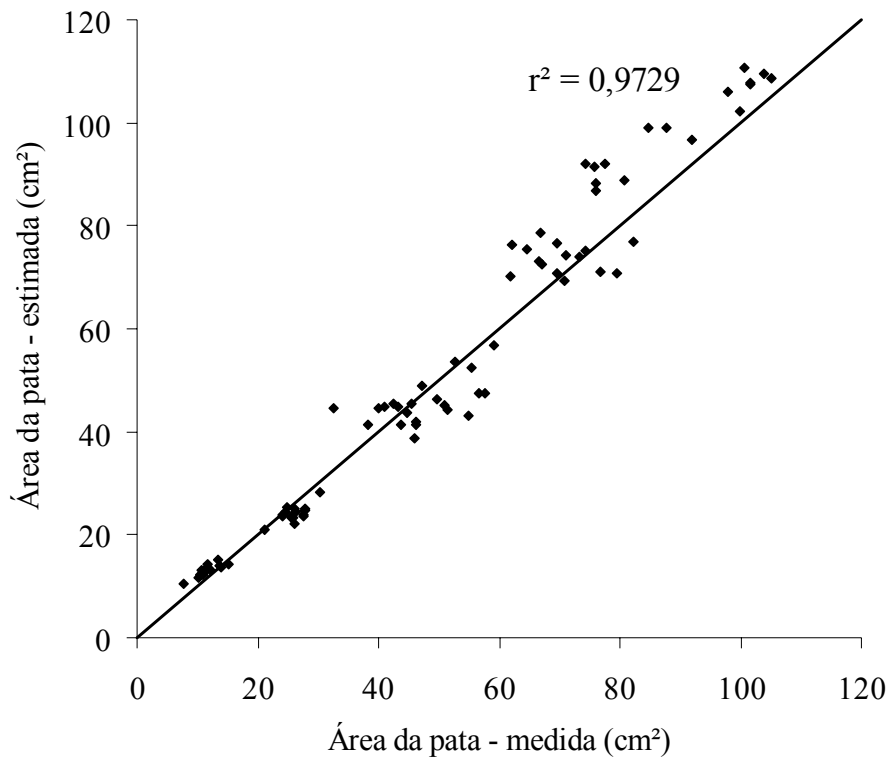


FIGURA 12. Comportamento das áreas superficiais medidas e estimadas pela equação 6 de uma única pata e perna de uma ave de corte.

#### 4.1.2 Técnica de *moiré*

##### 4.1.2.1 Calibração

Aves de corte, machos e fêmeas, totalizando 44 animais, foram usadas na fase de calibração da técnica de *moiré*. Inicialmente, determinaram-se os valores do comprimento, largura e altura da ave, analisando-se diretamente os resultados obtidos por meio da ferramenta *toolbox Scilab Image Processing* do *software Scilab*, versão para *MS Windows*. Após a análise, verificou-se a necessidade de se fazer correções nas dimensões citadas, uma vez que os valores foram diferentes daqueles medidos. Assim, ajustaram-se três equações para a determinação dos fatores de correção para o comprimento ( $F_{c,C}$ ) (equação 7), largura ( $F_{c,L}$ ) (equação 8) e altura ( $F_{c,A}$ ) (equação 9), em função da massa corporal da ave, sendo os coeficientes de determinação iguais a 0,5397, 0,4922 e 0,3704, respectivamente. O comportamento dos fatores de correção em função da massa corporal das aves é ilustrado na Figura 13.

$$F_{c,C} = -3 \times 10^{-8} M_c^2 + 0,0001 M_c + 0,1281 \quad (7)$$

$$F_{c,L} = -4 \times 10^{-07} M_c^2 + 0,0022 M_c + 0,1672 \quad (8)$$

$$F_{c,A} = -3 \times 10^{-0,8} M_c^2 + 0,0001 M_c + 0,099 \quad (9)$$

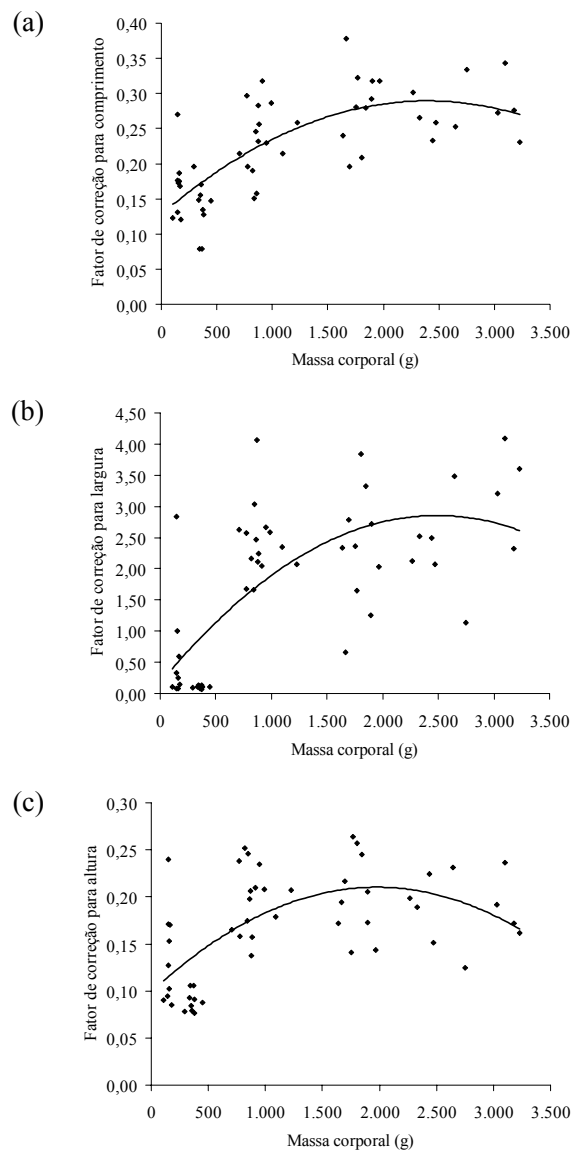


FIGURA 13. Comportamento dos fatores de correção aplicados ao comprimento ( $F_{c,C}$ ), largura ( $F_{c,L}$ ) e altura ( $F_{c,A}$ ) das aves, com base nas equações 7, 8 e 9, respectivamente.

O comportamento da área superficial determinada pela técnica de *moiré*, sem aplicação do fator de correção, em relação à área superficial medida está ilustrado na Figura 14.

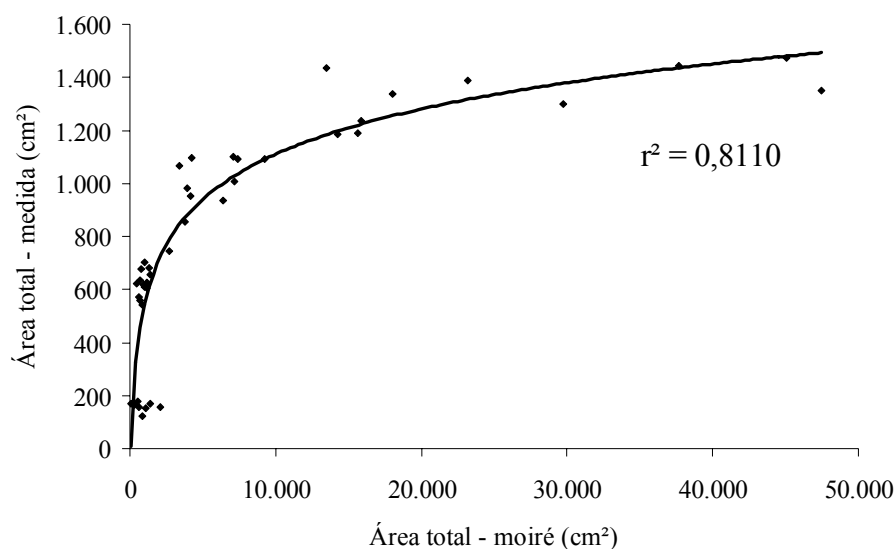


FIGURA 14. Comportamento da área superficial determinada pela técnica de *moiré* aplicando-se os fatores de correção para o comprimento, largura e altura em relação à área superficial medida.

Após o ajuste dos fatores de correção para comprimento, largura e altura, foram determinadas as áreas superficiais de cada ave usada na fase de calibração, verificando-se, assim, a necessidade de se fazer, além das correções citadas, a correção para a área superficial. Essa correção foi necessária devido às distorções que ocorrem na geração das imagens e que não reproduzem fidedignamente o formato do animal, apesar das correções feitas anteriormente. Para tal, ajustou-se uma equação logarítmica para correção da área superficial (equação 10), que é significativa pelo teste F ( $P < 0,0001$ ), com  $r^2$  de 0,8110.

$$A_{s, \text{moiré-corrigida}} = 245,47 \cdot \ln(A_{s, \text{moiré}}) - 1150,6 \quad (10)$$

Após a aplicação do fator de correção para a área superficial aos resultados obtidos pela técnica de *moiré*, verificou-se que não há diferença estatística (teste t, P=0,4999) entre esses valores quando comparados aos determinados pelo método convencional. A concordância entre esses valores é ilustrada na Figura 15, na qual o erro médio foi de  $14,47 \pm 25,36 \text{ cm}^2$ .

Os maiores desvios ocorreram para os pintinhos com massa corporal inferior a 200 g, pois os mesmos se movimentavam constantemente, dificultando a captura de uma imagem perfeita, apesar de não haverem ruídos “detectáveis” nas imagens capturadas. Ademais, a generalização da calibração pode ter influenciado nos resultados para este intervalo de massa corporal.



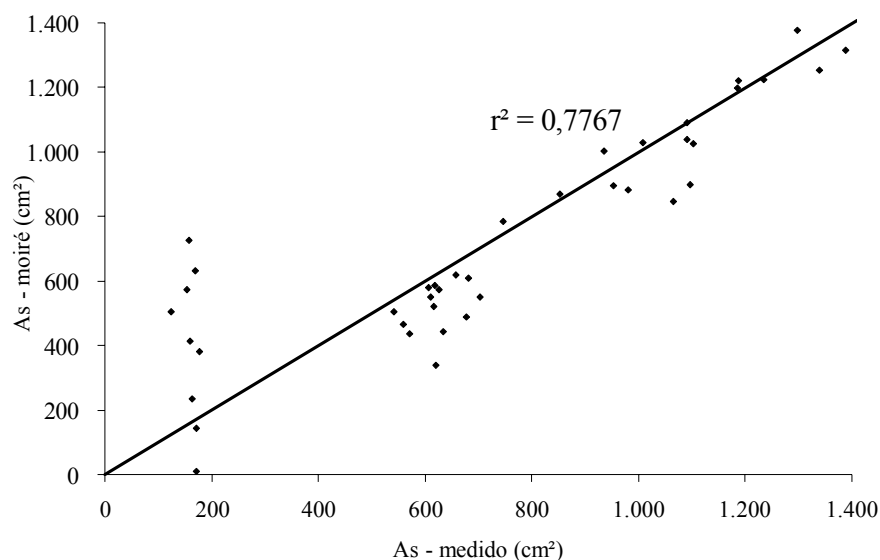


FIGURA 15. Comparação entre os valores de áreas superficiais medidas (método convencional) e determinadas pela técnica de *moiré* aplicando-se os fatores de correção para comprimento, largura, altura e área superficial.

#### 4.1.2.2 Validação

Após a fase de calibração, a técnica de *moiré* foi validada por meio de 21 amostras (aves). Os resultados indicaram a não existência de diferença estatística (teste t,  $P=0,3110$ ) entre os valores de área superficial estimados pela técnica de *moiré* e medidas (método convencional). O erro médio, considerando o método convencional como referência, foi de  $15,72 \pm 19,69 \text{ cm}^2$ . Na Figura 16 está ilustrada a concordância entre as áreas superficiais determinadas pelos dois métodos, técnica de *moiré* e convencional, sendo de forma similar à fase de calibração, com os maiores desvios ocorrendo para as aves com massas corporais menores que 200g.

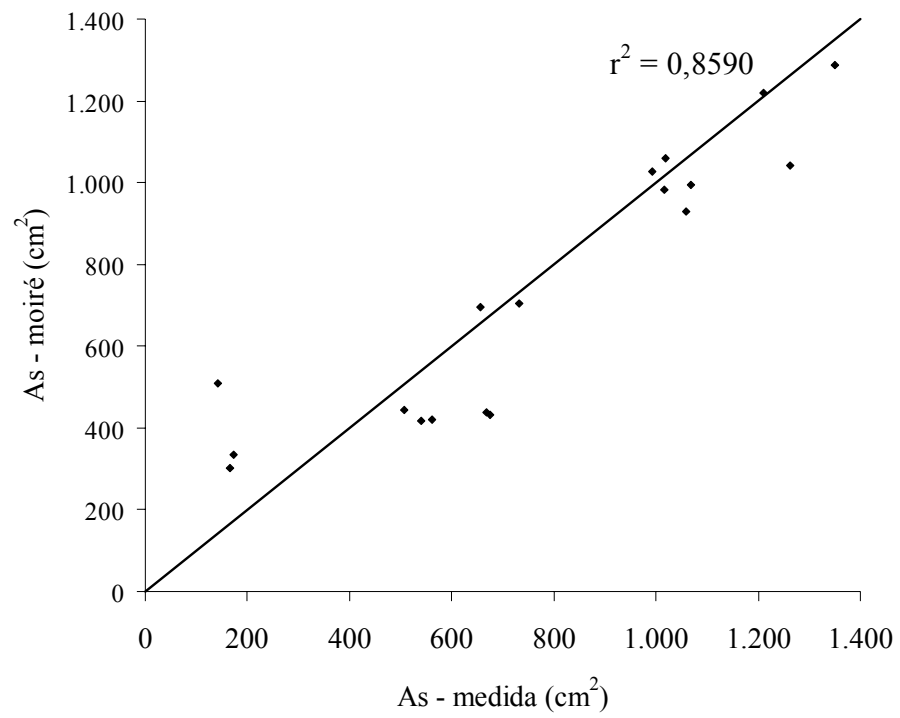


FIGURA 16. Comparação entre as áreas superficiais (As) determinadas pelo método convencional (medida) e técnica de *moiré*.

#### **4.2. Aplicação das equações para cálculo da área superficial de aves**

Para fins de comparação, as equações para cálculo de área superficial ajustada neste trabalho pelo método convencional (equação 5) e de Mitchell (1930) (equação 1) foram acopladas ao modelo matemático proposto por Yanagi Junior (2002), para predição do aumento de temperatura corporal de frangos de corte aos 50 minutos de exposição térmica ( $\Delta t_{b,50}$ ). Os resultados da simulação mostraram que a incorporação do modelo ajustado neste trabalho aumenta o desvio médio de 0,64°C para 1,04°C (Quadro 1). Este resultado permite inferir que outros ajustes devem ser feitos ao modelo proposto por Yanagi Junior (2002), a fim de se reduzir os erros de ajuste, tais como o de uma equação para predição da temperatura corporal de frangos de corte em função da temperatura do ar e do tempo de exposição das aves ao ambiente térmico. No Quadro 1, as abreviaturas  $T_{bs}$ ,  $T_{po}$  e  $v$  referem-se às temperaturas de bulbo-seco e ponto de orvalho e a velocidade do ar.

QUADRO 1. Aumento da temperatura corporal de aves aos 50 minutos de exposição térmica medido ( $\Delta t_{b,50m}$ ) e simulado ( $\Delta t_{b,50s}$ ), usando duas equações para cálculo de área superficial.

Condições do ambiente			$\Delta t_{b,50m}$	$\Delta t_{b,50s}$	
$T_{bs}$ (°C)	$T_{po}$ (°C) (UR, %)	$v$ (m s <sup>-1</sup> )	Medido	Eq. Mitchell	Modelo proposto
35	21,1 (45 %)	0,2	0,70 (0,17)	1,02 (0,32)	0,59 (-0,11)
		0,7	0,43 (0,22)	0,57 (0,13)	0,33 (-0,11)
		1,2	0,07 (0,15)	0,24 (0,18)	0,14 (0,07)
	26,7 (63 %)	0,2	0,67 (0,18)	1,02 (0,35)	0,59 (-0,08)
		0,7	0,60 (0,25)	0,57 (-0,03)	0,33 (-0,27)
		1,2	0,37 (0,18)	0,25 (-0,12)	0,14 (-0,22)
38	21,1 (38 %)	0,2	1,90 (0,67)	1,28 (-0,62)	0,72 (-1,18)
		0,7	1,23 (0,29)	1,09 (-0,15)	0,61 (-0,63)
		1,2	0,70 (0,10)	0,95 (0,25)	0,53 (-0,17)
	26,7 (53 %)	0,2	2,13 (0,35)	1,28 (-0,85)	0,72 (-1,42)
		0,7	1,67 (0,50)	1,09 (-0,58)	0,61 (-1,06)
		1,2	1,23 (0,68)	0,95 (-0,29)	0,53 (-0,71)
41	21,1 (32 %)	0,2	2,77 (0,07)	1,46 (-1,31)	0,69 (-2,08)
		0,7	3,20 (0,65)	1,61 (-1,59)	0,76 (-2,44)
		1,2	2,93 (0,20)	1,71 (-1,22)	0,81 (-2,13)
	26,7 (45 %)	0,2	2,90 (0,20)	1,46 (-1,44)	0,69 (-2,21)
		0,7	2,70 (0,32)	1,61 (-1,09)	0,76 (-1,58)
		1,2	3,07 (0,33)	1,71 (-1,36)	0,81 (-2,26)
Desvio absoluto médio:				0,64	1,04
Desvio padrão:				0,53	0,89

Os valores de  $\Delta t_{b,50}$  medidos e simulados com base na equação de Mitchell (1930) foram obtidas em Yanagi Junior (2002).

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a) o método convencional, usado para a obtenção da área superficial das aves e da área de uma única pata e perna, é adequado e viável de ser aplicado em frangos de corte;
- b) as equações empíricas ajustadas para a determinação da área superficial e de uma única pata e perna de frangos de corte foram estatisticamente significativas e apresentaram valores de coeficientes de determinação de 0,9886 e 0,9729, respectivamente;
- c) o acoplamento da equação ajustada para cálculo da área superficial de frangos de corte obtidas neste trabalho aumentou os erros dos resultados das simulações no modelo para cálculo do aumento da temperatura corporal, quando comparada à equação de Mitchell (1930), originalmente usada. Entretanto, esse resultado pode ser devido a limitações do próprio modelo;
- d) a técnica de *moiré* de projeção associada à análise de imagens permite a recuperação da forma tri-dimensional de frangos de corte, além da estimativa da área superficial, mostrando-se promissora como técnica biométrica não invasiva.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERTS, M.; WATHES, C.M.; BERCKMANS, D. Dynamic data-based modelling of heat production and growth of broiler chickens: development of an integrated management system. **Biosystems Engineering**, San Diego, v.84, n.3, p.257-266, Mar. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGOS. **A influenza aviária e as exportações brasileira de frango** Disponível em : <<http://www.abef.com.br>>. Acesso em: 5 ago. 2006.

ASSUNDI, A. **Computer aided moiré methods**. Disponível em: <<http://www.ntu.edu.sg/mpe/research/programmes/sensors/sensors/moire/camm.html>>. Acesso em: 15 abr. 1998.

ASSUNDI, A.; YUNG, K.H. Logical moiré and its application. **Experimental Mechanics**, v.31, n.3, p.236-242, Sept. 1991.

AUTODESK. **Autodesk inventor series: getting started**. San Rafael: 2005. v.10, 286p.

BASSANEZZI, R.C. **Ensino–aprendizagem com modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2002.

BENOSTON. **Moiré topography theory**. 1997. Disponível em: <<http://www.oet.gr/beneston/moiré.html>>. Acesso em: 6 jul. 2006.

CIGR. **Handbook of agricultural engineering: animal production and aquacultural engineering**. St Joseph: ASAE, 1999. v.2, 359p.

COSTA, C.A. **Pontos críticos do manejo de matrizes; manejo de matrizes**. Campinas: Fundação Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 1994. p.1-10.

CURTIS, S.E. **Environmental management in animal agriculture**. Iowa: Iowa State University, 1983. 410p.

DEATON, J.W.; REECE, F.N. Special world's poultry issue - implications of environmental control for broilers. **Feedstuffs**, v.6, p.34-42, 1970.

DENADAI, J.C.; MENDES, A.A.; GARCIA, R.G.; ALMEIDA, I.C.L.; MOREIRA, J.; TAKITA, T.S.; PAVAN, A.C.; GARCIA, E.A. Efeito da Duração do período de jejum pré-abate sobre rendimento de carcaça e a qualidade da carne do peito de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciências Avícolas**, Campinas, v.4, n.2 May 2002.

ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. Westport: AVI, 1978. 358p.

ESMAY, M.L.; DIXON, J.E. **Environmental control for agricultural buildings**. Westport: AVI, 1986. 287p.

FRANCO, J.L.K.; FRUHAUFF, M.E.V. **Manejo para o controle de ascite, síndrome da morte súbita, stress por calor e coccidiose**. Campinas: FACTA, 1997. p.121-133. (Curso de Manejo de Frangos de Corte).

FUNNELL, W.R.J.; DECRAEMER, W.F. **Moiré shape measurements in eardrum models 1998**. Disponível em: <<http://Funs.biomed.mcgill.ca/nãoFunnell/Audilab/drunsh.html>>. Acesso em: 18 maio 2006.

FURLAN, R.L. Influência da temperatura na produção de frangos de corte. In SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 7., 2006, Chapecó. **Anais...** Chapecó, SC: Abril, 2006.

GATES, R.S.; OVERHULTS, D.G.; BOTTCHEER, R.W.; ZHANG, S.H. Field calibration of a transient model for broiler misting. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.35, n.5, p.1623-1631, Sept./Oct. 1992.

GATES, R.S.; USRY, J.L.; NIENABER, J.A.; TURNER, L.W.; BRIDGES, T.C. Optimal misting method for cooling livestock housing. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.34, n.5, p.2199-2206, Sept./Oct. 1991.

GEBREMEDHIN, K.G.; WU, B. **A model of evaporative cooling of wet skin surface and fur layer**. St. Joseph: ASAE, 2000. (ASAE Paper, 004114).

GOMES, T.S. **Interferometria spekle e moiré geométrica aplicada á perfilometria de protótipos mecânicos**. 2005. 69p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

HU, Q. **3-D Shape measure mantte chniques**. Disponível em: <<http://www.sinc.sunysb.edu/stu/qhu/Chapter1.htm>>. Acesso em: 6 set. 2001.

KERATRON C. **Moiré fringe**: comparing moiré fringes to Placido based topography. 2000. Disponível em: <<http://209.155.2.106/keratron.html>>. Acesso em: 6 set. 2006.

LINO, C.L. **Técnica óptica de Moiré visando a aplicação no estudo de superfície irregular**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade do Estado de Campinas, Campinas, SP.

MACARI, M.; FURLAN, R.L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal. FUNEP/UNESP, 1994. 296p.

MACARI, M.; FURLAN, R.L.; MAIORKA, A. Aspectos fisiológicos e de manejo para manutenção da homeostase térmica e controle de síndromes metabólicas. In: MENDES, A.A.; NÄÄS, I.A.; MACARI, M. **Produção de frangos de corte**. Campinas: FACTA, 2004. p. 137-155.

MACARI, M.; GONZALES, E. Fisiopatogenia da síndrome da morte súbita em frango de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1990, Campinas. **Anais...** Campinas: APINCO, 1990. p.65-73.

MAHONEY, S.A.; KING, J.R. The use of the equivalent black-body temperature in the thermal energetic of small birds. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v.2, n.3, p.115-120, 1977.

McARTHUR, A.J. Metabolism of homeotherms in the cold and estimation of thermal insulation. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v.16, n.3, p.149-155, May 1991.

MEDEIROS, C.M. **Desenvolvimento e aplicação de modelo para simulação e desempenho de galinhas poedeiras e frangos de corte com uso de resfriamento evaporativo**. 1997. 88p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MENDES, A.A. Jejum pré-abate em frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.3, n.3 Sept./Dec. 2001.

MILLIGAN, J.L.; WINN, P.N. The influence of temperature and environmental chamber. **Poultry Science**, Champaign, v.43, n.3, p.817-824, Maio 1964.

MITCHELL, H.H. The surface area of single comb white leghorn chickens. **Journal of Nutrition**, v.2, n.5, p.443-449, 1930.



MITCHELL, J.W. Heat transfer from spheres and other animal forms. **Biophysical Journal**, Bethesda, v.16, n.6, p.561-569, 1976.

MITCHELL, M.A. Some physiological effects of environmental temperature upon poultry. In: INTERNATIONAL POULTRY BUILDINGS CONFERENCE, 30., 1987, Illinois. **Proceedings...** Illinois: University of Illinois, 1987. p.24-25, 1987.

MOURA, D.J. Ambiência na avicultura de corte. In: SILVA, I.J.O. **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: NUPEA/ESALQ/USP, 2001. v.2, p.75-149.

NÄÄS, I.A. Estresse calórico: meios artificiais de condicionamento. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÃO NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: UICAMP, 1995. p.109-112.

NEUGEBAUER, H.; WINDISCHBAUER, G. Moiré topography in scoliosis research. In: VON BALLY, G.; GREGUSS, P. (Ed.). **Optical in biomedical sciences**. Ed. Von bally, G; Greguss, P. 1982. p.250-253. (Spring Series in Optical Science, 20).

OLIVEIRA, B.S. **Imagens tridimensionais por meio da técnica de Moiré: uma nova proposta**. 2006. 44p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1987. 33p. (Boletim Técnico, 114).

PITHAN, R.O.; SILVA, A **Influenza aviária e as exportações brasileiras de frango**. São Paulo: Instituto de Economia Agrária, 2006. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/index.php>>. Acesso em: 23 ago. 2006.

SCIAMMARELLA, C.A. The *moiré* method: a review. **Experimental Mechanics**, v.44, n.8, p.418-433, Nov. 1982.

SEVERO, J.C.A.; YANAGI JUNIOR, T.; SANTOS, S.N.M.; BORGES, G.; TEIXEIRA, V.H. Desenvolvimento de um Software para predição do ambiente térmico no interior de galpões agropecuários. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v.5, n.2, p.59-72, 2003.

SHITAKUBO, F.; FABRO, I.M.; LINO, L.A.O. Moiré Interferometry Applied to support fish In: INTERNATIONAL CONGRESS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN AGRICULTURE, FOOD AND ENVIRONMENT, 2003, Izmir. **Proceedings...** Turkey: Kamil Okyay Sindir, 2003. p.604–607.

SIGGRAPH, 1999. **SIGGRAPH 99 course on 3D photography**. Disponível em: <<http://www.Cs.Cmu.edu/~seitz/course/3DPhoto-sigg99.html>>. Acesso em: 20 ago. 2006.

SIMMONS, J.D.; LOTT, B.D. Evaporative cooling performance resulting from changes in water temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.12, n.4, p.497-500, July/Aug. 1996.

SINGLETARY, I.B.; BOTTCHEER, R.W.; BAUGHMAN, G.R. Characterizing effects of temperature and humidity on misting evaporative efficiency. St. Joseph: **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.39, n.5, p.1801-1809, Sept./Oct. 1996.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **User's guide (Release 8.2)**. Cary, NC, 2001.

TINÔCO, I.F.F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciências Avícolas**, Campinas, SP. v.3, n.1, 2001.

WANG, Y.; HASSELL, P. **Measurement of thermally induced warpage of BGA packages/ substrates using phase – stepping shadow**. Disponível em: <<http://www.warpfinder.com/IPC.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2000.

WATHEN, P.; MITCHELL, J.W.; PORTER, W.P. Theoretical and experimental studies of energy exchange from Jackrabbit ears and cylindrical shaped appendages. **Biophysical Journal**, Bethesda, v.2, n.12, p.1030-1047, Dec. 1971.

YANAGI JUNIOR, T. **Partial surface wetting to relieve acute thermal stress of laying hens**. 2002. 93p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

YANAGI JUNIOR, T.; DAMASCENO, G. S.; TEIXEIRA, V. H.; XIN, H. Prediction of black globe humidity index in poultry buildings. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 6., 2001, Louisville. **Proceedings...** Louisville, Kentucky: ASAE, 2001. p.482-489.

YANAGI JUNIOR, T.; XIN, H.; GATES, R. S. **Thermal discomfort index for laying hens**. St. Joseph: ASAE, 2001. 13p. (ASAE Paper, 01-4064).

YANAGI, T.J.; XIN, H.; GATES, R.; LEANDRO, F. Fuzzy logic model to predict laying hen body temperature rise during acute heat stress. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, PB: SBEA, 2006.

ZWEMER, D.; HASSELL, P.; MAZEIKA, W.; PETERSKI, L.; HOLMES, R. **Shadow moiré based printed wiring board flatness inspections** Disponível em: <<http://www.warpfinder.com/IPC.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2000.