



THAYLA MORANDI RIDOLFI DE CARVALHO CURI

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO EM
INSTALAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE ATRAVÉS DE
DIFERENTES MODELAGENS**

CAMPINAS

2014



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Agrícola

THAYLA MORANDI RIDOLFI DE CARVALHO CURI

***“AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO EM INSTALAÇÕES PARA
FRANGOS DE CORTE ATRAVÉS DE DIFERENTES MODELAGENS”***

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor, na área de concentração de Construções Rurais e Ambiente.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. DANIELLA JORGE DE MOURA

Co-orientador: Prof. Dr. DANILO FLORENTINO PEREIRA

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELA ALUNA THAYLA MORANDI RIDOLFI DE CARVALHO-CURI, E ORIENTADA PELA PROFA. DRA. DANIELLA JORGE DE MOURA.

A handwritten signature in black ink, likely belonging to Prof. Dra. Daniella Jorge de Moura, is positioned above a horizontal line.

Prof. Dra. Daniella Jorge de Moura - Orientador

CAMPINAS

2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

C253a Carvalho Curi, Thayla Morandi Ridolfi de, 1985-
Avaliação do sistema de ventilação em instalações para frangos de corte através de diferentes modelagens / Thayla Morandi Ridolfi de Carvalho Curi. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Daniella Jorge de Moura.

Coorientador: Danilo Florentino Pereira.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Conforto térmico. 2. Zootecnia. 3. Fluidodinâmica computacional (CFD). 4. Indústria avícola. I. Moura, Daniella Jorge de, 1970-. II. Pereira, Danilo Florentino. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Different methodologies to evaluate ventilation systems in broiler facilities

Palavras-chave em inglês:

Thermal comfort

Animal Science

Computational fluid dynamics (CFD)

Poultry industry

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiente

Titulação: Doutora em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Daniella Jorge de Moura [Orientador]

Ibiara Correia de Lima Almeida Paz

Iran José Oliveira da Silva

Lucila Chebel Labaki

Zigomar Menezes Souza

Data de defesa: 19-02-2014

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Thayla Morandi Ridolfi de Carvalho Curi**, aprovada pela Comissão Julgadora em 19 de fevereiro de 2014, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



Profa. Dra. Daniella Jorge de Moura – Presidenta e Orientadora
Feagri/Unicamp



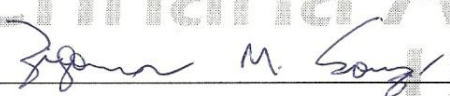
Profa. Dra. Ibiara Correia de Lima A. Paz - Membro Titular
FMVZ/Unesp



Prof. Dr. Iran José Oliveira da Silva – Membro Titular
Esalq/USP



Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki - Membro Titular
FEC/Unicamp



Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza - Membro Titular
Feagri/Unicamp

RESUMO:

Na avicultura, com o recente aumento no número de aviários climatizados, projetar e adequar instalações ao clima quente que permitam a manutenção da temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, concentração de amônia e dióxido de carbono em limites ideais às exigências das aves, sem aumento dos custos de produção, tem sido um grande desafio. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o sistema de ventilação em quatro diferentes tipologias de aviários para frangos de corte em relação à qualidade do ambiente por meio de técnicas computacionais de simulação, tais como, *Computational Fluid Dynamics*, geoestatística e redes neurais e posicionamento estratégico de sensores. Para isso, o trabalho foi conduzido em quatro instalações de frangos de corte localizados na região de Campinas com sistema de ventilação artificial e diferentes tipologias. Os sistemas de ventilação avaliados foram: BH - isolamento lateral por cortinas azuis e sistema de ventilação artificial de pressão negativa com exaustores; DH - isolamento lateral por cortinas pretas e sistema de ventilação mecanizada com exaustores e entrada de ar através do painel evaporativo; SW - isolamento lateral por paredes de alvenaria e sistema de ventilação artificial de pressão negativa com exaustores e entrada de ar através do painel evaporativo; e DWH - isolamento lateral por cortinas pretas e sistema de ventilação artificial de pressão negativa com exaustores e entrada de ar através do painel evaporativo (DWH). Foram monitoradas as variáveis climáticas (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar) e o ambiente aéreo (concentração de dióxido de carbono e amônia) duas vezes ao dia (9h00min e 14h00min), semanalmente aos 21, 28, 35 e 42 dias de idade das aves, em 52 pontos equidistantes na altura das mesmas, no período de inverno e verão. Os dados foram analisados por meio da análise estatística, geoestatística, redes neurais e CFD no intuito de avaliar, entender e sugerir mudanças para o sistema de ventilação. A partir das análises realizadas no presente trabalho foi possível observar que o período de verão é o mais crítico para criação de aves na fase final de criação. A análise geoestatística mostrou que a presença ou não do painel evaporativo influencia na condição padrão de funcionamento do sistema de ventilação. O painel evaporativo auxilia no resfriamento do ar no centro do aviário, enquanto nas paredes laterais ocorrem temperaturas acima do recomendado pela literatura em instalações com largura menores que 20 m. Aviários com larguras maiores que 20 m apresentam regiões com baixa renovação de ar nas laterais e em todo o comprimento. A melhor disposição dos sensores (de temperatura e umidade)

no interior do aviário foi três pontos equidistantes. A técnica do CFD permitiu visualizar o encaminhamento do ar de acordo com as diferentes condições de funcionamento dos exaustores em 2D e 3D e, determinar o melhor arranjo para o acionamento de exaustores a fim de evitar a formação de regiões com baixa renovação do ar e zonas de turbulência. As redes neurais artificiais foram capazes de auxiliar a tomada de decisão quanto da vazão de ar dos exaustores necessária para renovação e resfriamento do ar nas instalações de frango de corte.

Palavras chave: CFD, Concentração de gases, Conforto térmico, Geoestatística, Redes Neurais.

ABSTRACT:

With the recent increase in the acclimatized broiler houses in Brazil, the design and adaptation to the hot climate condition allowing the maintenance of the ideal temperature, relative humidity, air velocity, ammonia and carbon dioxide concentration has been a major challenge. The aim of this study was to evaluate the ventilation system in four different broiler houses typology in relation to air quality and thermal environment using computational techniques such as: computational fluid dynamics (CFD), geostatistics and neural networking. The research was carried out in four facilities located in Campinas region. Each facility had a different acclimatization system. The acclimatization system evaluated were: BH – side wall curtains and exhaust fans in negative pressure ventilation system, DH – side wall curtains and exhaust fans in negative pressure ventilation system with evaporative cooling panel, DWH – side wall curtains and exhaust fans in negative pressure ventilation system with evaporative cooling panel and SW – concrete bricks wall and exhaust fans in negative pressure ventilation system with evaporative cooling panel. The following climates were evaluated twice a day 9 AM and 2PM: temperature, relative humidity, air velocity, carbon dioxide and ammonia concentration when the birds were aged 21, 28, 35 and 42 days old. The data were monitored in 52 equidistant points, in the height of the birds, in summer and winter time. Data were evaluated by statistics analysis, geostatistic, neural networking and CFD in order to assess, understand and suggesting changes to the ventilation systems. The results showed that summer time is the more critical for final phase. Geostatistical analysis demonstrated the presence or absence of the evaporative panel influences the pattern of air flow. The ventilation systems with pad cooling chilled the air in the center of the building while the side walls active temperature above the temperature recommended in facilities with less than 20 m wide. However, poultry facilities greater than 20 m wide presents regions with lower air exchange, especially nearby side walls. The best position to locate the temperature and relative humidity sensors was in three equidistant points. The CFD technique allowed to visualize the air flow in 2D and 3D according to the different working conditions for the exhaust fans and, as well as determined the best exhaust fans arrangement to work avoiding low air exchange or turbulence area. The artificial neural networking was able to assist the decision making regards the ideal the air flow from the exhaust fans required to air exchanged and air cooling in the broiler house.

Key Words: CFD, Gases concentration, Geostatistical, Neural network, Thermal welfare.

SUMÁRIO

RESUMO:	VII
ABSTRACT:	IX
SUMÁRIO	XI
DEDICATÓRIA	XIII
AGRADECIMENTOS	XV
EPÍGRAFE	XVII
LISTA DE FIGURAS	XIX
LISTA DE TABELAS	XXVII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	4
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
2 REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 BEM-ESTAR ANIMAL	5
2.2 PARÂMETROS AMBIENTAIS E AÉREOS DE PRODUÇÃO DE AVES	6
2.2.1 <i>Ambiente para produção de frango de corte</i>	7
2.2.2 <i>Estresse térmico</i>	8
2.2.3 <i>Índices de conforto térmico</i>	9
2.3 QUALIDADE DO AR	11
2.3.1 <i>Concentração de amônia</i>	12
2.3.2 <i>Dióxido de Carbono</i>	13
2.4 SISTEMA DE VENTILAÇÃO	14
2.5 TIPOLOGIAS DE AVIÁRIOS PARA FRANGOS DE CORTE	17
2.6 ZOOTECNIA DE PRECISÃO	19
2.6.1 <i>Geoestatística</i>	20
2.6.2 <i>Sistemas de controle</i>	21
2.6.3 <i>Redes Neurais</i>	22
2.6.4 <i>CFD - Dinâmica dos fluidos computacional</i>	24
3 METODOLOGIA	27
3.1 DESCRIÇÕES DOS AVIÁRIOS.....	27
3.1.1 <i>Aviário Blue House</i>	27
3.1.2 <i>Aviário Dark House</i>	30
3.1.3 <i>Aviário Double Wide House</i>	33
3.1.4 <i>Aviário Solid Wall</i>	36
3.2 MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES EXTERNAS	39
3.3 MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES INTERNAS	39
3.3.1 <i>Ambiente térmico</i>	39
3.3.1.1 <i>Correção numérica</i>	41
3.3.2 <i>Ambiente aéreo</i>	43
3.4 ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO	44
3.5 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DOS EXAUSTORES	46
4 ANÁLISE DOS DADOS	49
4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	49
4.2 GEOESTATÍSTICA	50

4.3 POSICIONAMENTO DE SENSORES	53
4.4 REDES NEURAIIS	53
4.4.1 Construção do banco de dados.....	53
4.4.2 Construção do modelo	54
4.5 DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL	55
4.5.1 Geometria.....	56
4.5.2 Malha.....	59
4.5.3 Validação.....	64
4.5.4 Simulação.....	65
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
5.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	67
5.1.1 Dados correspondentes aos 21 dias de idade das aves.....	67
5.1.2 Dados correspondentes aos 28 dias de idade das aves.....	83
5.1.3 Dados correspondentes aos 35 dias de idade das aves.....	98
5.1.4 Dados correspondentes aos 42 dias de idade das aves.....	113
5.1.5 Considerações finais dos resultados da análise estatística.....	128
5.2. ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DOS DADOS.....	129
5.2.1 Dados referentes aos 21 dias de idade das aves.....	129
5.2.2 Dados referentes aos 28 dias de idade das aves.....	137
5.2.3 Dados referentes aos 35 dias de idade das aves.....	145
5.2.4 Dados referentes aos 42 dias de idade das aves.....	153
5.2.5 Considerações finais dos resultados da análise geoestatística.....	159
5.3 MAPEAMENTO DAS CONDIÇÕES DO AMBIENTE TÉRMICO E AÉREO PARA OS QUATRO AVIÁRIOS.....	160
5.3.1 Considerações finais dos resultados do mapeamento das condições ambientais.....	182
5.4 ALOCAÇÃO DE SENSORES PARA OS AVIÁRIOS ESTUDADOS	183
5.4.1 Considerações finais dos resultados do posicionamento de sensores	199
5.5 CFD	200
5.5.1 Geometria.....	200
5.5.2 Malha.....	202
5.5.3 Validação.....	206
5.5.4 Resultados	207
5.5.5 Considerações finais dos resultados da modelagem CFD	224
5.6 REDES NEURAIIS	225
5.6.1 Redes neurais para o aviário Blue House	226
5.6.2 Redes neurais para o aviário Dark House	230
5.6.3 Redes neurais para o aviário Double Wide House	235
5.6.4 Redes neurais para o aviário Solid Wall.....	239
5.6.5 Considerações finais dos resultados da modelagem em redes neurais	244
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	245
7. CONCLUSÕES	247
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	249

DEDICATÓRIA

*“Aos meus pais, Valdete e Paulo Roberto;
A minha irmã, Thalyta;
Ao meu marido, Rafael;
A todos que participaram desta realização e
A produção agropecuária brasileira.”*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha saúde, integridade física, inteligência e principalmente por me iluminar em toda esta trajetória.

À minha família pelo apoio, pela boa influência, força e incentivo em toda esta caminhada, até me acompanhando na coleta de dados.

Ao meu marido pelo companheirismo, compreensão e incentivo.

À Prof^a Dr^a Daniella Jorge de Moura pela orientação, amizade, sabedoria, confiança e principalmente pela grande oportunidade.

À Prof^a Dr^a Irenilza de Alencar Nääs pelo exemplo e sabedoria em sua área de atuação.

Aos Professores Prof. Dr. Danilo Florentino Pereira pela co-orientação e suporte, ao Prof. Dr. Julio Soriano pela oportunidade no Programa Estágio Docente, ao Prof. Dr. Luiz Henrique Antunes Rodrigues pela oportunidade no Programa Estágio Docente e auxílio na análise do banco de dados, como também o Prof. Dr. Douglas D'Alessandro Salgado pelo auxílio na parte estatística e novas abordagens de análise e ao Prof. Dr. Zigomar Menezes Souza. E ao novo Prof. Dr. Marcio Mesquita, que me auxiliou muito nas simulações de CFD.

A todas as pessoas, sem exceção, as quais me acompanharam ao longo de todas as coletas de dados no campo, congressos, reuniões, pois sem eles não seria possível a realização desta tese, como Thalyta, Gustavo, Luana, Vilmar, Rimena, Allan, Wagner, Rafael, Narciso, Gabriela, Muriel, Jurandi, Valdir e em especial Juliana Massari, Ana Cecília e Livia.

Aos funcionários da Feagri pelo auxílio na pesquisa, congressos, serviços prestados e amizade.

Ao Laboratório de Ambiente e Conforto Térmico por todo o auxílio e equipamentos.

Ao Laboratório de Conforto Térmico da Faculdade de Engenharia Civil, em especial à Prof. Dra. Lucila Chebel Labaki e ao Dr. Edson Matsumoto.

Às secretarias de pós-graduação e a de graduação pela amizade, auxílio e administração.

Aos proprietários dos aviários e ao integrado responsável que permitiram a realização deste estudo.

Aos órgãos de pesquisa CNPq pela bolsa de apoio e à FAPESP pelo auxílio à pesquisa.

Em especial à Feagri, professores e funcionários por toda minha formação.

EPÍGRAFE

*“A educação é a arma mais poderosa que você
pode usar para mudar o mundo.”*

Nelson Mandela

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comportamento das aves ao longo do tempo em relação às concentrações de CO ₂ .	14
Figura 2. Aviário com sistema de ventilação tipo túnel de pressão negativa padrão.	18
Figura 3. Modelo das redes neurais de modelo biológico (a) e com camada única (b).	23
Figura 4. Aviário do tipo <i>Blue House</i> com sistema de ventilação de pressão negativa. (a) vista interna da granja, (b) vista da entrada de ar e (c) vista dos exaustores.	28
Figura 5. Vista superior, frontal, posterior e lateral do aviário do tipo <i>Blue House</i> com sistema de ventilação de pressão negativa.	29
Figura 6. Aviário do tipo <i>Dark House</i> com sistema de ventilação de pressão negativa. (a) vista interna da granja, (b) vista da entrada de ar através do <i>painel evaporativo</i> e (c) vista dos exaustores.	31
Figura 7. Vista superior, frontal, posterior e lateral do aviário do tipo <i>Dark House</i> com sistema de ventilação de pressão negativa.	32
Figura 8. Aviário do tipo <i>Double Wide House</i> com sistema de ventilação de pressão negativa. (a) vista lateral da granja, (b) vista da entrada de ar através do <i>painel evaporativo</i> e (c) vista dos exaustores.	34
Figura 9. Vista superior, frontal, posterior e lateral do aviário do tipo <i>Double Wide House</i> com sistema de ventilação de pressão negativa.	35
Figura 10. Aviário do tipo <i>Solid Wall</i> com sistema de ventilação de pressão negativa. (a) vista interna da granja, (b) vista da entrada de ar/ <i>painel evaporativo</i> e (c) vista das laterais.	37
Figura 11. Vista superior, frontal, posterior e lateral do aviário do tipo <i>Solid Wall</i> com sistema de ventilação de pressão negativa.	38
Figura 12. Estação Meteorológica, Hobo®.	39
Figura 13. Distribuição dos 52 pontos de registro das variáveis ambientais, na altura das aves.	40
Figura 14. Anemômetro de fio quente VelociCalc® da marca TSI _{TM} .	40
Figura 15. Equipamento THDL 400, da marca Instrutherm®.	41
Figura 16. Equipamento MN 2150, da marca ICEL®.	41
Figura 17. Ajuste das variáveis climáticas.	42
Figura 18. Distribuição dos 52 pontos de registro das variáveis de concentração de gases, nas três alturas (0,3 m, 1,0 m e 1,6 m de altura em relação ao piso).	44
Figura 19. Equipamento GasAlertMicro 5, BW Technologies®.	44
Figura 20. Localização dos pontos para coleta da velocidade do ar para determinação da vazão.	47
Figura 21. Detalhamento do semivariograma.	51
Figura 22. Arquitetura da rede neural para predição da vazão dos exaustores com aprendizado <i>Feedforward-backpropagation</i> .	55
Figura 23. Fluxograma do processo típico da análise de CFD.	56

Figura 24. Geometria do painel evaporativo.	57
Figura 25. Geometria dos exaustores frontais.	57
Figura 26. Imagem em perspectiva da geometria do aviário estudado.	58
Figura 27. Divisão do painel evaporativo em retângulos com 0,10 m de altura.	59
Figura 28. Malha-estruturada hexaédrica nos exaustores do aviário.	60
Figura 29. Malha-estruturada hexaédrica nas entradas de ar através do painel evaporativo do aviário.	61
Figura 30. Imagem aproximada da malha-estruturada hexaédrica utilizada no aviário <i>Solid Wall</i>	61
Figura 31. Pontos de registro para validação do modelo de CFD.	65
Figura 32. Simulações utilizadas para determinação do melhor arranjo de funcionamento de cinco exaustores, sendo o funcionamento original dos exaustores (a), Simulação 1 (b), Simulação 2 (c), Simulação 3 (d), Simulação 4 (e), Simulação 5 (f), Simulação 6 (g) e Simulação 7 (h).	66
Figura 33. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental - temperatura de bulbo seco [°C] dos diferentes aviários, aos 21 dias de idade das aves.	79
Figura 34. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental - umidade relativa [%] dos diferentes aviários, aos 21 dias de idade das aves.	80
Figura 35. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental - velocidade do ar [m s ⁻¹] dos diferentes aviários, aos 21 dias de idade das aves.	81
Figura 36. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental – concentração de dióxido de carbono [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 21 dias de idade das aves.	82
Figura 37. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental – concentração de amônia [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 21 dias de idade das aves.	83
Figura 38. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental - temperatura de bulbo seco [°C] dos diferentes aviários, aos 28 dias de idade das aves.	94
Figura 39. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental - umidade relativa [%] dos diferentes aviários, aos 28 dias de idade das aves.	95
Figura 40. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental - velocidade do ar [m s ⁻¹] dos diferentes aviários, aos 28 dias de idade das aves.	96
Figura 41. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental – concentração de dióxido de carbono [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 28 dias de idade das aves.	97
Figura 42. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental – concentração de amônia [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 28 dias de idade das aves.	98
Figura 43. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental - temperatura de bulbo seco [°C] dos diferentes aviários, aos 35 dias de idade das aves.	109

Figura 44. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental - umidade relativa [%] dos diferentes aviários, aos 35 dias de idade das aves.	110
Figura 45. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental - velocidade do ar [m s^{-1}] dos diferentes aviários, aos 35 dias de idade das aves.	111
Figura 46. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental – concentração de dióxido de carbono [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 35 dias de idade das aves.	112
Figura 47. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental – concentração de amônia [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 35 dias de idade das aves.	113
Figura 48. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental - temperatura de bulbo seco [°C] dos diferentes aviários, aos 42 dias de idade das aves.	124
Figura 49. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental - umidade relativa [%] dos diferentes aviários, aos 42 dias de idade das aves.	125
Figura 50. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental - velocidade do ar [m s^{-1}] dos diferentes aviários, aos 42 dias de idade das aves.	126
Figura 51. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental – concentração de dióxido de carbono [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 42 dias de idade das aves.	127
Figura 52. Gráfico de <i>boxplot</i> da variável ambiental – concentração de amônia [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 42 dias de idade das aves.	128
Figura 53. Esquema simplificado dos aviários estudados do tipo <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d).	160
Figura 54. Mapas de krigagem para a variável de temperatura de bulbo seco nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 21 dias de idade das aves.	162
Figura 55. Mapas de krigagem para a variável de temperatura de bulbo seco nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 28 dias de idade das aves.	163
Figura 56. Mapas de krigagem para a variável de temperatura de bulbo seco nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 35 dias de idade das aves.	165
Figura 57. Mapas de krigagem para a variável de temperatura de bulbo seco nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 42 dias de idade das aves.	166

Figura 58. Mapas de krigagem para a variável de umidade relativa nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 21 dias de idade das aves.	167
Figura 59. Mapas de krigagem para a variável de umidade relativa nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 28 dias de idade das aves.	168
Figura 60. Mapas de krigagem para a variável de umidade relativa nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 35 dias de idade das aves.	169
Figura 61. Mapas de krigagem para a variável de umidade relativa nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 42 dias de idade das aves.	170
Figura 62. Mapas de krigagem para a variável de velocidade do ar nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 21 dias de idade das aves.	171
Figura 63. Mapas de krigagem para a variável de velocidade do ar nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 28 dias de idade das aves.	172
Figura 64. Mapas de krigagem para a variável de velocidade do ar nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 35 dias de idade das aves.	173
Figura 65. Mapas de krigagem para a variável de velocidade do ar nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 42 dias de idade das aves.	174
Figura 66. Mapas de krigagem para a variável de concentração de dióxido de carbono nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 21 dias de idade das aves.....	175
Figura 67. Mapas de krigagem para a variável de concentração de dióxido de carbono nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 28 dias de idade das aves.....	176
Figura 68. Mapas de krigagem para a variável de concentração de dióxido de carbono nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 35 dias de idade das aves.....	177

Figura 69. Mapas de krigagem para a variável de concentração de dióxido de carbono nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 42 dias de idade das aves.....	178
Figura 70. Mapas de krigagem para a variável de concentração de amônia nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 21 dias de idade das aves.	179
Figura 71. Mapas de krigagem para a variável de concentração de amônia nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 28 dias de idade das aves.	180
Figura 72. Mapas de krigagem para a variável de concentração de amônia nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 35 dias de idade das aves.	181
Figura 73. Mapas de krigagem para a variável de concentração de amônia nos aviários <i>Blue House</i> (a), <i>Dark House</i> (b), <i>Double Wide House</i> (c) e <i>Solid Wall</i> (d) no período do verão às 14h00min, aos 42 dias de idade das aves.	182
Figura 74. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário <i>Blue House</i> para o período de inverno, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.	186
Figura 75. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário <i>Blue House</i> para o período de verão, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.	187
Figura 76. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário <i>Dark House</i> para o período de inverno, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.	190
Figura 77. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário <i>Dark House</i> para o período de verão, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.	191
Figura 78. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário <i>Double Wide House</i> para o período de inverno, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.	194
Figura 79. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário <i>Double Wide House</i> para o período de verão, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.	195
Figura 80. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário <i>Solid Wall</i> para o período de inverno, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.	198
Figura 81. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário <i>Solid Wall</i> para o período de verão, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.	199
Figura 82. Geometria do aviário <i>Solid Wall</i> , com enfoque nos exaustores frontais.	200
Figura 83. Geometria do aviário <i>Solid Wall</i> , com enfoque nas entradas de ar através dos painéis evaporativos no fundo e na lateral da instalação.	201

Figura 84. Geometria do aviário <i>Solid Wall</i> , com enfoque nas saídas de ar através dos exaustores na frente e na lateral da instalação.....	201
Figura 85. Geometria em perspectiva do aviário <i>Solid Wall</i>	202
Figura 86. Comparação entre as simulações com diferentes dimensões de malhas.....	204
Figura 87. Distribuição da malha escolhida nos exaustores frontais.	204
Figura 88. Distribuição da malha escolhida nos painéis evaporativos traseiros.	205
Figura 89. Distribuição da malha escolhida nos painéis evaporativos traseiros e laterais, em perspectiva.	205
Figura 90. Imagem mais aproximada (<i>zoom</i>) da malha-estruturada escolhida.....	206
Figura 91. Condições de contorno do modelo para validação.	207
Figura 92. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação Original (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).....	209
Figura 93. Resultado da Simulação Original do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.	210
Figura 94. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 1 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).	211
Figura 95. Resultado da Simulação 1 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.....	212
Figura 96. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 2 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).	213
Figura 97. Resultado da Simulação 2 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.....	214
Figura 98. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 3 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).	215
Figura 99. Resultado da Simulação 3 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.....	216
Figura 100. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 4 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).	217
Figura 101. Resultado da Simulação 4 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.....	218
Figura 102. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 5 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).	219
Figura 103. Resultado da Simulação 5 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.....	220

Figura 104. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 6 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).	221
Figura 105. Resultado da Simulação 6 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.	222
Figura 106. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 7 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).	223
Figura 107. Resultado da Simulação 7 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.	224
Figura 108. Topologia das redes neurais utilizadas na predição da vazão do ar nos quatro aviários estudados.	226
Figura 109. O erro obtido para cada <i>fold</i> com 500 épocas.	227
Figura 110. Relação funcional para a vazão medida e a estimada pela rede neural.	228
Figura 111. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000622).	229
Figura 112. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000622).	229
Figura 113. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000622).	230
Figura 114. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000622).	230
Figura 115. O erro obtido para cada <i>fold</i> com 500 épocas.	232
Figura 116. Relação funcional para a vazão medida e a estimada pela rede neural.	232
Figura 117. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000117).	233
Figura 118. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000117).	234
Figura 119. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000117).	234
Figura 120. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000117).	235
Figura 121. O erro obtido para cada <i>fold</i> com 500 épocas.	236
Figura 122. Relação funcional para a vazão medida e a estimada pela rede neural.	237
Figura 123. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000132).	238

Figura 124. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000132).	238
Figura 125. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000132).	239
Figura 126. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000132).	239
Figura 127. O erro obtido para cada fold com 500 épocas.....	241
Figura 128. Relação funcional para a vazão medida e a estimada pela rede neural.	241
Figura 129. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0005138).	242
Figura 130. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0005138).	243
Figura 131. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0005138).	243
Figura 132. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0005138).	244

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Temperatura <i>versus</i> umidade relativa para cada idade das aves (COBB, 2008).	8
Tabela 2. Critérios de avaliação do ambiente aéreo pelo Globalgap (2012).	12
Tabela 3. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.	69
Tabela 4. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 21 dias de idade das aves no período do inverno às 9h00min.	70
Tabela 5. Resultado da análise estatística descritiva das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.	72
Tabela 6. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 21 dias de idade das aves no período do inverno às 14h00min.	73
Tabela 7. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.	74
Tabela 8. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 21 dias de idade das aves no período do verão às 9h00min.	75
Tabela 9. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.	77
Tabela 10. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 21 dias de idade das aves no período do verão às 14h00min.	78
Tabela 11. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 9h00min.	85
Tabela 12. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 21 dias de idade das aves no período do inverno às 9h00min.	86
Tabela 13. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes, aos 28 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.	87
Tabela 14. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 28 dias de idade das aves no período do inverno às 14h00min.	88
Tabela 15. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.	89
Tabela 16. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 28 dias de idade das aves no período do verão às 9h00min.	90
Tabela 17. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.	92

Tabela 18. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 28 dias de idade das aves no período do verão às 9h00min.	93
Tabela 19. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.	100
Tabela 20. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 35 dias de idade das aves no período do inverno às 9h00min.	101
Tabela 21. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.	102
Tabela 22. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 35 dias de idade das aves no período do inverno às 14h00min.	103
Tabela 23. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.	105
Tabela 24. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 35 dias de idade das aves no período do verão às 9h00min.	106
Tabela 25. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.	107
Tabela 26. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 35 dias de idade das aves no período do verão às 14h00min.	108
Tabela 27. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.	115
Tabela 28. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 42 dias de idade das aves no período do inverno às 9h00min.	116
Tabela 29. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.	117
Tabela 30. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 42 dias de idade das aves no período do inverno às 14h00min.	118
Tabela 31. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.	120
Tabela 32. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 42 dias de idade das aves no período do verão às 9h00min.	121
Tabela 33. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.	122
Tabela 34. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 42 dias de idade das aves no período do verão às 14h00min.	123

Tabela 35. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.....	130
Tabela 36. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.....	132
Tabela 37. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.....	134
Tabela 38. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.....	136
Tabela 39. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.....	138
Tabela 40. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.....	140
Tabela 41. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.....	142
Tabela 42. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.....	144
Tabela 43. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.....	146
Tabela 44. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.....	148
Tabela 45. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.....	150

Tabela 46. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.....	152
Tabela 47. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.....	154
Tabela 48. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.....	156
Tabela 49. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.....	157
Tabela 50. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os aviários BH, DH, DWH e SW, aos 42 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.....	159
Tabela 51. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para o Índice de Temperatura e Umidade no galpão <i>Blue House</i> às 14h00min, nas diferentes idades das aves.	184
Tabela 52. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário <i>Blue House</i> às 14h00min, no período do inverno, nas diferentes idades das aves.	184
Tabela 53. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário <i>Blue House</i> às 14h00min, no período do verão, nas diferentes idades das aves.	185
Tabela 54. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para o Índice de Temperatura e Umidade no galpão <i>Dark House</i> às 14h00min, nas diferentes idades das aves.	188
Tabela 55. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário <i>Dark House</i> às 14h00min, no período do inverno, nas diferentes idades das aves.	188
Tabela 56. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário <i>Dark House</i> às 14h00min, no período do verão, nas diferentes idades das aves.	189
Tabela 57. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para o Índice de Temperatura e Umidade no galpão <i>Double Wide House</i> às 14h00min, nas diferentes idades das aves. ..	192
Tabela 58. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário <i>Double Wide House</i> às 14h00min, no período do inverno, nas diferentes idades das aves.	192
Tabela 59. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário <i>Double Wide House</i> às 14h00min, no período do verão, nas diferentes idades das aves.	193

Tabela 60. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para o Índice de Temperatura e Umidade no galpão <i>Solid Wall</i> às 14h00min, nas diferentes idades das aves.	196
Tabela 61. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário <i>Solid Wall</i> às 14h00min, no período do inverno, nas diferentes idades das aves.	196
Tabela 62. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário <i>Solid Wall</i> às 14h00min, no período do verão, nas diferentes idades das aves.	197
Tabela 63. Diferentes tamanhos de malha testadas.....	202
Tabela 64. Comparação da distribuição da velocidade do ar (m s^{-1}) em todas as simulações no interior da instalação para frangos de corte.....	207
Tabela 65. Parâmetros de avaliação da acurácia do modelo de redes neurais.	227
Tabela 66. Parâmetros de avaliação da acurácia do modelo de redes neurais.	231
Tabela 67. Parâmetros de avaliação da acurácia do modelo de redes neurais.	236
Tabela 68. Parâmetros de avaliação da acurácia do modelo de redes neurais.	240

1 INTRODUÇÃO

A produção de frango de corte brasileira vem se desenvolvendo em um cenário muito competitivo. A produção mundial de carne de frango foi de 82.317 toneladas em 2012, sendo que o Brasil representa 15,36% da produção mundial e, a carne de frango responde por 1,50% do Produto Interno Bruto nacional. O Brasil apresentou crescimento de 111,37% entre o período de 2000 e 2012 e, ocupa o primeiro lugar no ranking mundial de maior exportador (3.918 toneladas de carne de frango) e o terceiro lugar como maior produtor de carne de frangos (12.645 toneladas de carne), sendo a região sudeste responsável por 11,70% da produção nacional e o estado de São Paulo é o mais representativo com 181.431 mil toneladas (UBABEF, 2013).

A avicultura de corte tem buscado o progresso por meio de pesquisas nas áreas de genética, instalações, nutrição, manejo, sanidade e conforto ambiental. Todos esses estudos têm como propósito, compreender melhor os fatores que influenciam o desenvolvimento e o desempenho de frangos de corte para que se obtenha a máxima produção de carne com o menor custo de produção, considerando simultaneamente, o bem estar das aves, possibilitando condições adequadas para expressar suas melhores características produtivas (NAZARENO et al., 2009).

Dentre os diversos fatores que influenciam a produção de frangos de corte, os fatores ambientais, como a temperatura, umidade relativa, ventilação, iluminância, radiação entre outros, assumem relevante importância no processo de criação dos animais, pois são os que mais os afetam, sendo capazes de comprometer a função vital mais importante das aves, que é a homeotermia (OLIVEIRA et al., 2006; AMARAL et al., 2011). É sabido que os animais atingem a sua produtividade ótima quando são mantidos em ambiente termoneutro, ou seja, quando a energia do alimento não é desviada para compensar desvios térmicos em relação ao intervalo de termoneutralidade para eliminar ou manter o seu calor.

Neste sentido, o ambiente gerado pelo sistema de ventilação em instalações de frango de corte desempenha papel fundamental na avicultura, a qual objetiva alcançar alta produtividade, em espaço físico e tempo cada vez menores. A exposição de frangos a altas temperaturas causa redução na ingestão de alimentos, prejudicando a taxa de crescimento, o rendimento do peito e a qualidade da carne, além de provocar dispêndio de energia da produção para promover a perda de calor (DOZIER et al., 2006; LU et al., 2007). Segundo Medeiros et al. (2005), em ambientes

considerados quentes, Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade maior que 77, mesmo sem haver mortalidade, ocorre redução de 67% no ganho de peso diário. Assim, o sucesso na produção de carne de frango tem íntima relação ao manejo eficiente do ambiente em que as aves estão inseridas. Em estudos, Salgado et al. (2007) afirmam que o excesso de frio e, principalmente, o excesso de calor, reverterem em menor produtividade, afetando também seu crescimento e saúde, o que pode levar a situação extrema, como o acréscimo da mortalidade dos lotes.

Neste contexto, a necessidade do controle e entendimento efetivo do ambiente interno nas instalações avícolas é a principal razão do uso de diferentes métodos matemático e computacionais, tais como a lógica fuzzy (PANDORFI et al., 2007; OWADA et al., 2007; NÄÄS et al., 2008; TOLON et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2011), mineração de dados (ROUSH et al., 1996; KIRCHNER et al., 2004; ZHANG et al., 2005; VALE et al., 2008; LIMA & RODRIGUES, 2010;), geoestatística (MIRAGLIOTTA et al., 2006; MILES et al., 2008; BARBOSA FILHO et al., 2009; YANAGI JÚNIOR et al., 2011; CARVALHO et al., 2011; CARVALHO et al., 2012; PEREIRA et al., 2012; CHOWDHURY et al., 2013; SILVA et al., 2013) e CFD - *Computational Fluid Dynamics* (LEE et al., 2007; PAWAR et al., 2007; NORTON et al., 2007; BLANES-VIDAL et al., 2008; MOSTAFA et al., 2012; BUSTAMANTE et al., 2013). As simulações são importantes para a previsão de problemas localizados, auxiliando na implantação de procedimentos de controle, com o objetivo de reduzir perdas produtivas.

A hipótese deste trabalho é que ferramentas computacionais, tais como a geoestatística, redes neurais e CFD - *Computational Fluid Dynamics*, permitem diagnosticar de forma mais precisa pontos críticos nos sistemas de ventilação em instalações de frangos de corte.

1.1 JUSTIFICATIVA

O estudo e a compreensão das condições ambientais em que os frangos de corte estão alojados são importantes para aumentar o bem-estar e o conforto térmico dos mesmos e por consequência, melhorar a produção e a qualidade da carne. Os efeitos adversos do estresse por calor nas aves de corte podem influenciar: consumo de alimento, ganho de peso corporal, taxa de crescimento, conversão alimentar, qualidade de carcaça, quantidade de glóbulos brancos no

sangue e produção de anticorpos (HAI et al., 2000; TEMIM et al., 2000; MASHALY et al., 2004; GRIGGS & JACOB, 2005).

Na região de São Paulo, as instalações de frango de corte apresentam sistema de ventilação artificial de pressão negativa, sistema de ventilação natural de pressão positiva e também sistema de ventilação artificial de pressão positiva com uso de ventiladores. No primeiro caso, este proporciona maior isolamento das condições internas em relação às condições externas devido ao isolamento por cortinas ou paredes laterais, forro e telhado normalmente de fibrocimento. Já no segundo caso é realizado o manejo de cortinas para auxiliar na ventilação e, o isolamento é por meio de cortinas laterais, forro e telhado de fibrocimento na maioria dos casos. O uso desses sistemas de ventilação visa amenizar as duas fases críticas de criação, sendo elas: 1) quando as aves estão na fase inicial de criação no período do inverno, o qual é necessário adicionar calor ao aviário, ao mesmo tempo em que é necessário fazer a renovação do ar e isolamento das condições externas adversas, e 2) quando as aves se apresentam na fase final de criação no período do verão em que é necessário retirar o calor produzido pelas aves e também pela radiação solar, bem como o isolamento das condições externas adversas.

Frangos de corte submetidos a altas temperaturas apresentam muitas mudanças comportamentais que lhes permitem restabelecer o equilíbrio térmico com o ambiente. Frangos tendem a prostar mais durante os períodos de estresse por calor. Algumas aves vão ficar em silêncio, enquanto outros simplesmente se agachar perto de paredes ou bebedouros. Normalmente, as suas asas se espalham para longe do corpo para promover o arrefecimento, reduzindo isolamento do corpo. No corpo da ave, o fluxo sanguíneo é desviado de certos órgãos internos, tais como o fígado, os rins e os intestinos para a dilatação dos vasos sanguíneos do tecido periférico (cristas e barbelas) de modo a facilitar a perda de calor. Um ambiente é tido como confortável para aves na fase final de criação quando apresenta temperaturas de 15-18°C a 22-25°C e umidade relativa do ar de 50 a 70%. Esses valores, especialmente no que tange à temperatura, dificilmente são obtidos nas condições do clima brasileiro, sobretudo no verão (TINÔCO, 2001).

Segundo Lee et al. (2007), o sistema de ventilação natural apresenta dificuldades em controlar o ambiente interno de maneira adequada mesmo com o uso de ventiladores em condições de clima quente, o que reduz a estabilidade e a uniformidade das condições internas

causando estresse, dificuldade em conter possíveis problemas sanitários (doenças) e diminuição da produtividade.

Neste sentido, o estudo e a avaliação do sistema de ventilação utilizados em instalações de frangos de corte com o uso de diferentes modelagens auxiliam no maior entendimento do ambiente produzido (conforto térmico e qualidade do ar) e, assim, é possível identificar quais medidas devem ser empregadas no manejo com o intuito de melhorar a ambiência em que as aves estão alojadas e, conseqüentemente, aumento da produtividade do lote.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar e estudar os sistemas de ventilação em relação à qualidade do ambiente térmico e aéreo. Utilizando técnicas computacionais de simulação (CFD), geoestatística e redes neurais no interior das instalações de criação de frangos de corte com o objetivo de identificar falhas e propor melhorias no projeto de ventilação.

1.2.2 Objetivos específicos

- Monitorar o ambiente térmico (temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar) em aviários com diferentes tipologias;
- Monitorar as concentrações dos gases (amônia e dióxido de carbono) nestes aviários;
- Monitorar a homogeneidade da distribuição das variáveis térmicas e aéreas por meio da geoestatística;
- Determinação do posicionamento de sensores para o controle efetivo do ambiente térmico de criação;
- Simulação de alterações nos sistemas de ventilação propondo alternativas de melhoria por meio da modelagem computacional da dinâmica dos fluidos e;
- Proposta de um modelo desenvolvido através das redes neurais para predição da vazão ideal nos exaustores nos aviários estudados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Bem-estar animal

Atualmente, a produção animal depara-se com a preocupação da crescente demanda por alimento frente ao crescimento da população humana global, como também às novas exigências do consumidor em relação à qualidade do produto, a saúde, a segurança alimentar e o bem-estar em que os animais foram criados.

Neste sentido, nos países em que estas questões estão presentes, observa-se o aumento no número de diretrizes, regras e leis, tanto no setor público quanto no privado a fim de estabelecer padrões mínimos de bem-estar animal (PHILLIPS, 2009). Na Europa, há uma diretiva específica para a proteção dos frangos de corte, a qual estabelece regras mínimas para o bem-estar das aves e apresenta indicações sobre as práticas de gestão com foco particular em densidade, regime de luz, qualidade do ar, treinamento e orientação para pessoas que lidam com aves, bem como o monitoramento de planos para detenção e abatedouro (MELUZZI & SIRRI, 2008). Entretanto, o bem-estar tem sido relacionado com o aumento do custo do produto, sendo um entrave na comercialização dos que apresentam melhorias na qualidade de vida dos animais e acredita-se que este cenário irá melhorar somente quando o consumidor perceber a diferença entre os produtos e estiver disposto a pagar pelo investimento (MOLENTO, 2005; VERBEKE, 2009).

Segundo pesquisa do IBOPE - Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística (2012), cerca de 8% dos brasileiros se declararam vegetarianos, representando 15,2 milhões de pessoas. Dentre as justificativas da isenção da carne na dieta, destaca-se a má condição dos sistemas produtivos em que os animais são criados, preocupação com o meio ambiente e questões de saúde.

O bem-estar animal compreende dois aspectos fundamentais, o bem estar físico, que se manifesta por meio de um bom estado de saúde e o bem-estar psicológico, que reflete o comportamento, ou seja, a ausência de comportamentos anormais (FRASER, 1999; NOLDUS & JANSSEN, 2004; MELUZZI & SIRRI, 2008). E a avaliação do bem-estar deve ser realizada, em termos práticos, de forma simples, objetiva, sensível e fácil para auditoria (SØRENSEN &

SANDOE, 2001). Segundo FAWC - *Farm Animal Welfare Council* (citado por CHEVILLON, 2000), pode-se definir bem-estar animal de acordo com as cinco liberdades atribuídas aos animais: 1) liberdade fisiológica, 2) liberdade ambiental, 3) liberdade sanitária, 4) liberdade comportamental e 5) liberdade psicológica.

O Índice de Bem-Estar Unitário (*Unitary Welfare Index*) foi desenvolvido para relacionar a mortalidade, incidência de dermatite, problemas de pernas, densidade do lote, enriquecimento ambiental, pronto-atendimento, problemas na debicagem, restrição alimentar, peso e grau de empenamento em relação ao bem-estar. A pontuação varia de 1 (bem-estar ruim) à 10 (bem-estar ótimo) (HASLAM & KESTIN, 2004).

O bem-estar está associado a vários fatores no sistema de criação, sendo eles: 1) equipamentos e instalações: equipamentos de aquecimento, resfriamento, alimentação, distribuição de água de bebida; 2) densidade das aves: quando a densidade é superior que 30 kg m⁻², a taxa de crescimento é reduzida pelo estresse calórico (MCLEAN et al., 2001); 3) intensidade e regime de luz: a Comissão Européia estabelece da diretiva 2007/43EC que são necessárias, no mínimo, seis horas de escuridão no regime de luz e intensidade de 20 lux durante os períodos de iluminação nos olhos das aves (MELUZZI & SIRRI, 2008); 4) cama de frango e qualidade do ar: a concentração de dióxido de carbono e amônia não deve exceder 3.000 ppm e 20 ppm, respectivamente, na alturas das aves. Considerados fatores de risco na saúde respiratória dos animais (SCAHAW, 2000); 5) contaminantes: fungos, doença de *Marek*, doença de *Newcastle*, doença infecciosa da Bursa de *Fabircius*, Campilobacteriose, Salmoneloses aviárias, micoplasmoses aviárias, micotoxinas, entre outros; 6) temperatura e umidade do ar: conforto térmico; 7) nutrição; 8) captura das aves e 9) transporte das aves até o abatedouro.

A Comissão Européia estabelece da diretiva 2007/43EC (*European Comission*) que a densidade não deve ultrapassar 32 kg m⁻² (MELUZZI & SIRRI, 2008). Estudos relataram o aumento da mortalidade quando se aumenta a densidade (SHANAWANY, 1988) e, neste caso, as condições térmicas (temperatura e umidade relativa) e a qualidade da cama são mais expressivas no bem-estar comparado com a densidade menores de aves (DAWKINS et al., 2004);

2.2 Parâmetros ambientais e aéreos de produção de aves

Os atributos ambientais de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar, os parâmetros aéreos de concentração de gases (dióxido de carbono, amônia, monóxido de

carbono) e a presença de poeira e microorganismos no interior das instalações são fatores utilizados para avaliar o ambiente em que as aves estão alocadas e influenciam na qualidade de vida do frango de corte e, por consequência a sua produção (BANHAZI et al., 2008).

2.2.1 Ambiente para produção de frango de corte

As condições ideais de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para a criação de frango de corte na fase final de criação permite o melhor desenvolvimento destas aves. Segundo Meluzzi & Sirri (2008), quando a temperatura externa estiver acima de 30 °C, a temperatura no interior da instalação não deve exceder 3 °C em relação à temperatura externa, enquanto que se a temperatura externa estiver abaixo de 10 °C, a umidade não deve ultrapassar 70%. Caso a umidade relativa seja inferior a 50 %, ocorre uma maior produção de poeira e presença de microorganismo no ar, as quais podem influenciar na susceptibilidade de doenças respiratórias, enquanto que umidade acima de 80 % dificulta a perda de calor latente das aves, gerado por um ambiente com alta densidade de aves por metro quadrado no período do inverno, quando a taxa de ventilação é reduzida por questões econômicas para manutenção da temperatura, ou mesmo no verão quando há a combinação de temperatura e umidade relativa elevadas.

Em relação ao conforto térmico, o ambiente adequado à criação de aves na fase final é considerado quando a temperatura se apresenta entre os valores de 15 e 26 °C e a umidade relativa entre 50 e 70% (BAÊTA & SOUZA, 1997; TINÔCO, 2004). Enquanto que Medeiros et al. (2005) observaram que quando o frango de corte nas fases de crescimento e final são criados nas condições de temperatura igual a 26°C, umidade relativa de 55% e velocidade do ar de 1,5 m s⁻¹, ocorre resultados adequados de produtividade. Já os autores Barnwell & Rossi (2003) afirmaram que temperatura igual a 21,1 °C, umidade relativa igual à 50% e velocidade do ar igual à 1,3 m s⁻¹ são as condições ideais de criação para o frango de corte adulto.

Outros autores relataram que a temperatura ambiente ideal para criação de frangos de corte está próxima aos 20 °C (MACARI & GONZALES, 1990; COOPER & WASHBURN, 1998; TANKSON et al., 2001), enquanto que a ave apresenta temperatura média superficial da pele próximo de 33 °C, e temperatura interna de 41 °C. A diferença de temperatura auxilia o fluxo de calor do ponto mais quente (frango de corte) em direção ao ponto mais frio (ambiente), por meio da perda de calor sensível. Desta forma, Salgado & Nääs (2010) verificaram que as regiões do estado de São Paulo produtoras de frango de corte, tais como São José do Rio Preto e

Araçatuba, apresentam temperaturas médias mínimas relacionadas a valores de risco à produção, conforme dados da Tabela 1.

Tabela 1. Temperatura *versus* umidade relativa para cada idade das aves (COBB, 2008).

Idades [dias]	¹ Umidade Relativa [%]	¹ Temperatura de Bulbo Seco [°C]
21	Entre 50 e 60	Entre 24 e 26
28	Entre 50 e 65	Entre 21 e 23
35	Entre 50 e 70	Entre 19 e 21
42	Entre 50 e 70	18

¹ Umidade menor que a faixa acima – aumentar a faixa de temperatura entre 0,50 e 1,00 °C. Umidade maior que a faixa acima – diminuir a faixa de temperatura entre 0,50 e 1,00 °C.

Fonte: Adaptado de Cobb (2008)

2.2.2 Estresse térmico

A produção agropecuária em países de clima tropical e subtropical é afetada pelos elevados valores de temperatura, os quais interferem negativamente na produção de frango de corte, principalmente quando estas estão na fase final de criação. Nesta fase o frango se adapta melhor a ambientes frios, visto que seu sistema termorregulador é mais adequado para reter calor do que para dissipá-lo. Quando exposta a condição de estresse térmico por elevadas temperaturas, ocorre a diminuição no consumo de ração e, conseqüentemente, redução no ganho de peso e pior conversão alimentar (BUENO, 2004). Estudos observaram que aves expostas a condições de estresse térmico por calor, apresentaram alto risco de perda produtiva, podendo levar à morte (NIENABER & HAHN, 2004; SALGADO, 2006; VALE et al., 2008).

No Brasil, o período mais crítico para a criação de frangos de corte ocorre entre os meses de outubro a março (OLIVEIRA et al., 2006; CARVALHO et al., 2009). Enquanto Silva et al. (2005) verificaram que o mês mais crítico é janeiro, os meses de janeiro e fevereiro alcançaram os maiores valores de ITU - Índice de Temperatura e Umidade médio, $78,3 \pm 0,7$ e $78,4 \pm 0,6$, respectivamente.

O estresse por calor ao frango de corte está associado à temperatura e umidade relativa do ambiente. Quando a temperatura se apresenta acima do ideal, é acionado o mecanismo de perda de calor latente por evaporação - por meio da respiração (MARDER & ARAD, 1989) e perda de calor sensível pela pele da ave (WEBSTER & KING, 1987). A força motriz para a perda de calor

por evaporação é o gradiente entre a superfície do corpo e da densidade do vapor de água do ar (expresso pela umidade relativa). O mecanismo de evaporação respiratório pode causar alcalose respiratória, que é um resultado da hiperventilação devido à respiração ofegante (MARDER & ARAD, 1989), e pode reduzir a taxa de crescimento em frangos de corte e perus (COHEN e HURWITZ, 1974; HURWITZ et al., 1974.; MASKREY, 1984; YAHAV et al, 1995, 1998). Em altas temperaturas, a dissipação de calor por resfriamento evaporativo é impedida pela alta umidade relativa.

Quando a umidade relativa no interior das instalações ultrapassam níveis de 80%, as aves apresentam maiores dificuldades na troca de calor latente (CURTIS, 1983; SARMENTO et al., 2005; MEDEIROS et al., 2005; JÁCOME et al., 2007). Também foi observado que quando a umidade relativa aumenta, para uma mesma temperatura, reduz-se o déficit de pressão de vapor juntamente com a capacidade do ar em absorver umidade.

Segundo Sarmento et al. (2005), uma das maneiras de melhorar o conforto térmico das aves no interior das instalações é a pintura do telhado em cores claras a fim de impedir o ganho de calor pela radiação solar.

2.2.3 Índices de conforto térmico

Com o intuito de quantificar e caracterizar o ambiente térmico dos animais de criação foram desenvolvidas correlações entre variáveis como temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, temperatura de globo negro, entre outras variáveis, também conhecido como Índice de Conforto Térmico, entre as variáveis ambientais de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e radiação, as quais influenciam na homeotermia do frango de corte (MEDEIROS et al., 2005; DAMASCENO et al., 2010).

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) foi o primeiro índice de conforto utilizado na caracterização do ambiente de produção animal e procura indicar os efeitos combinados da temperatura e umidade de ar no conforto e desempenho do animal (MATTOS, 2007; NASCIMENTO, 2011). Considera-se situação de conforto o valor do ITU abaixo de 70 para animais domésticos e valores acima de 78 é considerado estressante. Vitorasso & Pereira (2009) ressaltam que o ITU, apesar de não considerar os efeitos da radiação, pode ser empregado para resumir o conforto térmico em situações nas quais não se mediu a temperatura de globo negro. Dentre as equações para o cálculo do ITU, destacam-se:

A Equação 1, que apresenta o cálculo do ITU pela metodologia proposta por Thom (1959).

$$ITU = T_{bs} + (0,36 \times T_{bu}) + 41,5 \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

Tbs = Temperatura de bulbo seco, °C.

Tbu = Temperatura de bulbo úmido, °C.

A Equação 2, que apresenta o cálculo do índice de Temperatura, Umidade e Velocidade do ar - ITUV pela metodologia proposta por Tao & Xin (2003).

$$ITUV = [(0,85 \times T_{bs}) + (0,15 \times T_{bu})] \times Var^{-0,058} \text{ (Equação 2)}$$

Onde:

Tbs = Temperatura de bulbo seco, °C.

Tbu = Temperatura de bulbo úmido, °C.

Var = velocidade do ar, m s⁻¹.

A Equação 3, que apresenta o cálculo do índice de Temperatura de Globo Negro - ITGU pela metodologia proposta por Buffington et al. (1981), o qual considera o efeito da radiação e apresenta a vantagem de incorporar diretamente em um único valor, os efeitos da temperatura do ar, umidade, velocidade do ar e radiação solar, na forma de temperatura de globo negro.

$$ITGU = [0,72 \times (T_{gn} + T_{bu})] + 40,6 \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

Tgn = Temperatura de globo negro, °C.

Tbu = Temperatura de bulbo úmido, °C.

De acordo com Baêta & Souza (1997), o ITGU é um dos indicadores mais precisos de estresse. Medeiros et al. (2005) verificaram que em ambientes considerados confortáveis (temperatura: 26°C, umidade do ar: 55% e velocidade do ar: 1,5 m s⁻¹) o ITGU com valor entre 69 e 77 apresentou maior produtividade e melhores parâmetros zootécnicos em frangos de corte.

Quanto ao ITGU proposto por Buffington et al. (1981), foi calculado a carga térmica radiante (CTR) – Equação 4, segundo Esmay (1974).

$$CTR = \sigma \times \left\{ 100 \times \left[2,51 \times \sqrt{Var} \times (T_{gn} - T_{bs}) + \left(\frac{T_{gn}}{100} \right)^4 \right]^{0,25} \right\}^4 \text{ (Equação 4)}$$

Onde:

$\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ K}^{-4} \text{ W m}^{-2}$.

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

Tgn = Temperatura de globo negro, K.

Tbs = Temperatura de bulbo seco, K.

A CTR é a radiação total recebida por um corpo de todo o espaço circundante a ele. Essa definição não engloba a troca líquida de radiação entre o corpo e o seu meio circundante, mas inclui a radiação incidente no corpo (BOND & KELLY, 1955). Silva et al. (1990) registraram que o mais importante nas instalações é diminuir o balanço de energia entre o animal e o meio, até um limite de otimização, sendo a CTR um dos principais componentes do balanço energético de um animal. Sua avaliação é fundamental no estudo da definição do meio ambiente.

2.3 Qualidade do ar

A qualidade do ar deve ser controlada e mantida dentro dos limites adequados para o bem-estar animal. A diretiva da Comissão Européia (2007) estabelece limites máximos de 20 ppm, 3.000 ppm e 70 % para a concentração de amônia, dióxido de carbono e nível de umidade relativa, respectivamente.

Em relação à qualidade do ar, além de ser fonte de oxigênio para o metabolismo de qualquer espécie animal, é um ótimo veículo de dissipação do excedente de calor, do vapor d'água, dos gases provenientes dos animais e da decomposição dos dejetos, da poeira liberada pela cama e outros. Algumas instituições, como o Globalgap, estabeleceram critérios para o ambiente aéreo de aviários (Tabela 2).

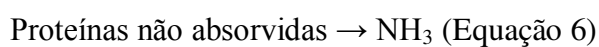
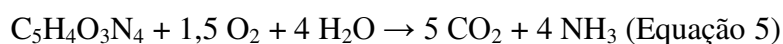
Tabela 2. Critérios de avaliação do ambiente aéreo pelo Globalgap (2012).

Gases	Limites
Concentração de Dióxido de Carbono	5.000 ppm
Concentração de Monóxido de Carbono	50 ppm
Concentração de Amônia	20 ppm
Concentração de Sulfato de Hidrogênio	10 ppm
Poeira Inalável	10 mg m ⁻³

Fonte: Adaptado de Globalgap (2012)

2.3.1 Concentração de amônia

A amônia é um gás poluente abundante em instalações de frango de corte, o qual ocasiona grande impacto no bem-estar das aves (KRISTENSEN & WATHES, 2000). Este gás é formado durante a decomposição do ácido úrico e a eficiência de conversão para este está diretamente relacionada com o nível de umidade da cama. O ácido úrico e as proteínas não absorvidas são os principais componentes de nitrogênio das fezes das aves, o qual apresenta entre 30 e 70% do total de nitrogênio. O processo da degradação bioquímica do ácido úrico (Equação 5) e o processo da degradação bioquímica das proteínas não absorvidas (Equação 6) são complexos, porém, podem ser simplificados (SCHEFFERLE, 1965):



A decomposição do ácido úrico e das proteínas é possivelmente influenciada pela temperatura, pH e umidade dos componentes (ELLIOT & COLLINS, 1982). A degradação do ácido úrico em amônia a partir das excretas das aves está entre 8 e 40% do total de ácido úrico excretado por dia.

Altos níveis de amônia são responsáveis pelo surgimento de doenças respiratórias e conjuntivites, enquanto a poeira forma-se a partir de pequenos pedaços de penas, pele, areia e fezes secas e pode ser dividida em dois tipos: a poeira inalável (partículas maiores do que 5 µm) e a poeira respirável (partículas menores do que 5 mm), sendo responsável na transmissão de doenças, causando inflamação dos brônquios, pela ação conjunta da amônia, umidade baixa e temperaturas elevadas (KRISTENSEN & WATHES, 2000). A amônia é um poluente capaz de

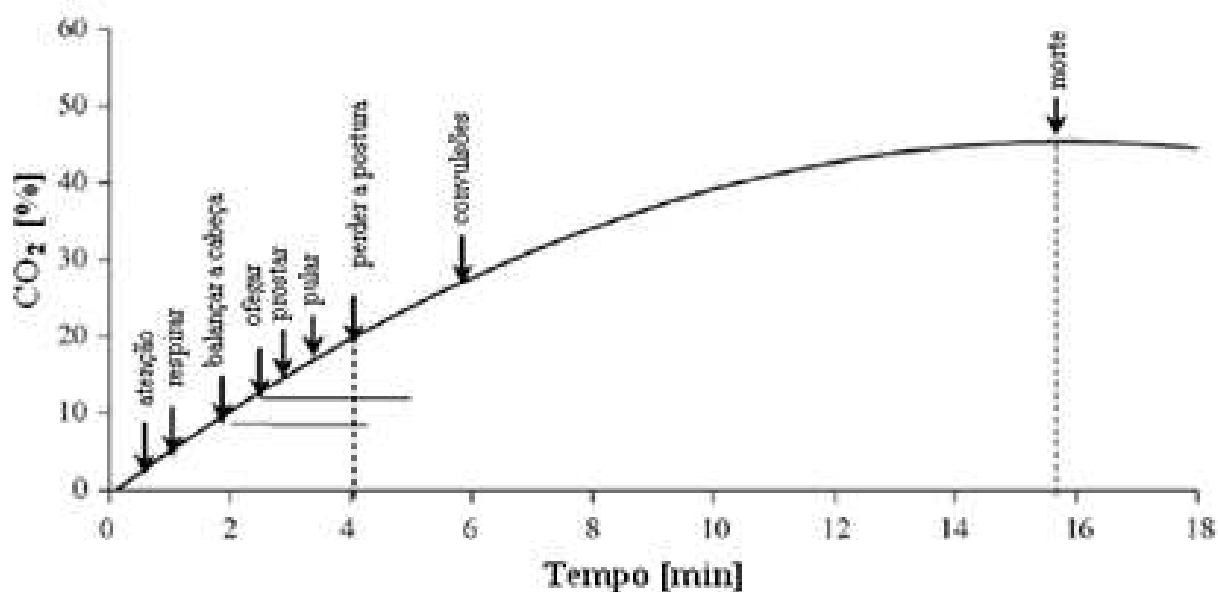
irritar o trato respiratório das aves de forma grave (CCOHS – *Canadian Center for Occupational Health and Security*, 1998). Trabalhadores e os frangos de corte estão expostos a altos níveis de amônia por longos períodos de tempo no interior dos aviários e, esta alta concentração pode ser controlada por meio da ventilação e tratamentos de cama (BAEK et al., 2004). Altas concentrações de gases foram relatadas em aviários por vários autores (REDWINE et al., 2002; MILES et al., 2004; MILES et al., 2006; MILES et al., 2008).

Segundo Battye et al. (1994) as taxas de produção e emissão de amônia são dependentes das condições de crescimento (alimentação e o regime de ventilação), práticas de manejo (frequência de troca de cama e cama reaproveitada) e condições meteorológicas locais (temperatura, umidade relativa e velocidade do vento).

Quando o pH da cama de frango apresenta valores próximos a 7, toda a amônia é transformada em íons de amônio (NH_4^+) o que não é responsável pela volatilização. Neste sentido, um estudo realizado por Miles et al. (2004) mostrou que a exposição das aves em níveis de amônia acima de 25 ppm nos primeiros 28 dias de idade influenciou negativamente no peso corporal quando as aves estavam entre 28 e 42 dias de idade.

2.3.2 Dióxido de Carbono

O dióxido de carbono (CO_2) oriundo dos dejetos e da respiração dos animais é produto da oxidação de substâncias orgânicas, incluindo a respiração biológica e queima de biomassa e combustíveis fósseis (HYNST et al., 2007) e, mesmo não sendo tóxico e inodoro, em altas concentrações causa asfixia. A sua concentração no interior dos aviários bem ventilados pode variar entre 1.000 ppm no verão e 10.000 ppm no inverno, enquanto que está presente no ar atmosférico a uma concentração média de 350 ppm. A Figura 1 apresenta o comportamento das aves em relação ao tempo e concentração de CO_2 , onde se pode observar que quanto maior é a concentração, menor é a atividade das aves. Trabalhos na área investigaram os efeitos do lento aumento na concentração de CO_2 (0 a 45%) sobre o comportamento de frangos de corte, matrizes, patos e perus, para determinar os efeitos sobre o bem-estar (GERRITZEN et al., 2006). Dentre as consequências de altas concentrações de CO_2 são destaques a falta de ar, ativação do sistema de alerta, hiperventilação e irritação da mucosa nasal (RAJ & GREGORY, 1995). O CO_2 em grandes concentrações é usado também em processos de atordoamento e abate.



CO₂ – concentração de dióxido de carbono, %.

Fonte: Adaptado de Gerritzen et al. (2006)

Figura 1. Comportamento das aves ao longo do tempo em relação às concentrações de CO₂.

Em trabalhos na área foi observado concentração de dióxido de carbono entre 600 e 4000 ppm, sendo que esta faixa não é considerado nocivo às aves e aos trabalhadores (LIMA et al., 2004; ALENCAR et al., 2002).

2.4 Sistema de ventilação

A ventilação máxima é necessária para prevenir a hipertemia, enquanto a taxa de ventilação mínima é usada para prover ambiente térmico e aéreo aceitável para o desenvolvimento dos animais. As taxas de ventilação podem ser avaliadas segundo a habilidade de controlar a temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, bem como manter concentração tolerável de gases, poeira e ar saturado com microorganismos (Wathes & Charles, 1994).

A ventilação é um dos fatores mais importantes, capaz de condicionar em boa parte o êxito da produção. É considerada necessária pelas seguintes razões: redução da umidade produzida pela respiração das aves, da umidade presente na cama, assim como do ar quente saturado localizado próximo às coberturas; controle da temperatura ambiental, tanto em épocas de calor como nas frias; renovação do oxigênio ambiental consumido pela respiração das aves; e

eliminação do gás amoniacal que se forma pela fermentação orgânica das camas, principalmente, quando estão mal conservadas (CAVALCHINI, 1985).

O funcionamento da ventilação de pressão negativa do tipo exaustão é a retirada do ar do ambiente interno utilizando o sistema túnel. Toda vez que a ventilação natural não for suficiente para a manutenção ideal das condições climáticas (temperatura e umidade) no interior dos galpões, deve-se utilizar a ventilação artificial que é produzida por equipamentos de exaustão. A taxa de ventilação pode ser controlada através do dimensionamento dos exaustores, das entradas e saídas de ar.

Tanto no sistema de ventilação por pressão negativa quanto por pressão positiva, deve ser dada atenção à pressão que está relacionada diretamente com a vazão e não com a velocidade do ar. Dessa forma, é importante ter o conhecimento de quanto de ar deve ser renovado por unidade de tempo. É comum encontrar em uma edificação, zonas de pressão de baixa movimentação de ar, sejam por pressão negativa ou positiva. Um dos fatores mais frequentes para essa ocorrência é o mau dimensionamento e posicionamento dos equipamentos de ventilação (MENDES, 2005).

Sob condições de temperaturas elevadas, o movimento do ar é essencial para a melhoria das condições ambientais, atuando de duas maneiras diferentes: aumentando-se a velocidade do ar, o calor é dissipado por convecção uma vez que a temperatura ambiente esteja abaixo da temperatura corporal da ave e também favorece o resfriamento por evaporação em qualquer temperatura ambiente e o ar é renovado em torno das aves, substituindo o ar existente por ar frio e seco. Sendo assim, a ventilação promove a dissipação do calor da ave para o ambiente, aumenta os níveis de oxigênio e reduz as concentrações de amônia e de dióxido de carbono no interior das instalações (BAÊTA et al., 2001).

Em aviários sob condições ambientais controladas e sistema de ventilação mecânica, as taxas de ventilação podem ser determinadas por meio de métodos diretos com precisão melhor do que 10% (GATES et al, 2004; CALVET et al., 2010).

A importância de avaliar os sistemas de ventilação em instalações para frangos de corte está em verificar o bem-estar dos animais durante a criação e também do trabalhador em relação ao conforto térmico e à qualidade do ar. Tais avaliações poderão reverter em informações para que as empresas tomem decisões para alterar o manejo, além de contribuir para o inventário nacional sobre emissão de gases relacionados ao efeito estufa e alertar o setor sobre os efeitos desses gases na alteração do clima (SANTOS et al., 2009).

A ventilação lateral, ou a ventilação em modo túnel, com pressão positiva ou negativa, promove a dissipação de calor sensível no interior da instalação. Entretanto, este efeito benéfico se torna nulo quando a temperatura se equipara à temperatura corporal da ave, havendo a necessidade do pré-resfriamento do ar a ser circulado no ambiente. O uso de sistemas de resfriamento por painel evaporativo possibilita a redução da temperatura do ar em até 11 °C em algumas regiões, sendo que no Brasil, a média desta redução é de 6 °C (em função da umidade relativa do ambiente). No caso da região sudeste, o uso do sistema de ventilação tipo túnel com resfriamento evaporativo por meio de nebulizador e painel evaporativo é o mais recomendável em razão de proporcionar melhores condições de conforto às aves, uma vez que somente o uso da ventilação não foi suficiente para lhes garantir conforto térmico no período estudado, para as horas mais quentes do dia (CARVALHO et al., 2009).

No sistema de ventilação por pressão negativa o ar é succionado por exaustores de dentro para fora, criando um vácuo parcial no interior da construção; desse modo, succionando o ar externo. No sistema de ventilação com pressão positiva o ar externo é forçado, por meio de ventiladores, a entrar na construção, criando gradiente de pressão de fora para dentro da instalação. Esse sistema é o mais comum nos aviários de construção aberta, podendo ser de dois tipos: em modos túnel e lateral (MIDWEST PLAN SERVICE, 1990; BAÊTA & SOUZA, 1997; ABREU & ABREU, 2000; TINÔCO, 2004).

É possível utilizar o balanço de CO₂, o qual é produzido pelas aves e pela cama, na determinação da taxa de ventilação. O dióxido de carbono produzido pelos animais depende do peso do animal e do ganho de peso e é fortemente atrelado à variação de atividade dos animais, uma vez que é função do metabolismo das aves (CALVET et al., 2010).

Segundo Abreu et al. (2011), a ventilação fornecida por ventiladores estacionários e oscilantes apresenta o mesmo comportamento e foram capazes de melhorar de maneira eficaz as condições térmicas no interior do aviário em relação ao ambiente externo. Sendo assim, o isolamento do aviário, o sistema de controle ambiental eficiente e o manejo adequado da cama de frango são fatores que auxiliam na redução da influência da temperatura da cama em relação ao ambiente térmico dos aviários.

O projeto do sistema de ventilação utilizado para fazer a renovação do ar e resfriamento no interior das granjas foi baseado na vazão nominal dos exaustores. No entanto, com o desgaste, poeira e até o tempo de uso, faz com que o exaustor apresente uma vazão inferior à utilizada no

cálculo. Desta forma, é necessária a realização da manutenção dos exaustores (limpeza, troca de correias, ajustes, entre outras atividades) a cada lote e também a avaliação dos mesmos *in loco*. Neste sentido, existem normas, práticas de engenharia e/ou procedimentos para a determinação do desempenho de ventiladores (AMCA, 1999; ASHRAE, 2001), além de normas para mensuração da vazão de ar em laboratórios, como a ASHRAE *Standard* 41.2-1987 (RA92) (ASHRAE Standards, 1992) e metodologia proposta por Wheller & Bottcher (1995) o qual se utiliza de um anemômetro disposto em nove pontos distintos na área de saída do ar para a mensuração da velocidade do ar e posteriormente a vazão dos exaustores.

2.5 Tipologias de aviários para frangos de corte

Atualmente, há a preocupação com a introdução de novas tecnologias oriundas de países com condições climáticas, econômicas e culturais bastante diferentes das condições brasileiras. Esse fato faz com que se realizem adaptações destas tecnologias por meio de tentativas que várias vezes não apresentam os resultados esperados, levando a frustrações pelos investimentos realizados e tempo consumido com essas tarefas. Portanto, a introdução de várias tecnologias e as suas adaptações levam ao surgimento de diferentes sistemas produtivos de aves, cada um com suas especificações, constituindo um grande desafio para o conforto térmico e qualidade do ar desses aviários (ABREU & ABREU, 2011).

A cobertura, inclinação do telhado, forro, pintura, beiral, pé-direito, dimensão da instalação, cuidados com o entorno e sistemas mecânicos são meios da edificação rural que, ao serem estudados e aplicados de forma adequada, podem ser exigidos em determinadas épocas do ano para solucionar os problemas do bioclima em caráter permanente (FRANCA et al., 2007).

A Figura 2 apresenta o esquema de um aviário construído com sistema de ventilação tipo túnel de pressão negativa com variações quanto:

- ao uso de exaustores - localizados na face frontal do aviário (podendo haver variações com a instalação de exaustores nas laterais também), os quais apresentam diversas marcas, modelos, vazões e características do cone.

- ao tipo de resfriamento - o resfriamento pode ser realizado por meio de nebulização no interior do aviário e/ou painel evaporativo (construídos de parede de celulose ou tijolo cerâmico inclinado) instalados nas entradas de ar localizadas na face oposta aos exaustores, as quais apresentam variações quanto à localização.

- às entradas de ar - pode conter painel evaporativo ou não e hoje é utilizado *inlets* para auxiliar na renovação do ar na fase inicial de criação das aves.

- ao material de isolamento - utilizado acortinado de polietileno na cor branca ou prata na face externa e azul na face interna – aviário conhecido como *Blue House*, acortinado de polietileno na cor branca ou prata na face externa e preta na face interna – aviário conhecido como *Dark House*, acortinado de polietileno na cor amarela, paredes de blocos de concreto – aviário *Solid Wall*, paredes de compensado naval – aviário *Solid Wall*, entre outros.

- à cobertura - o telhado pode ser construído com telhas de fibrocimento, telhas cerâmicas, telhado sanduíche com material isolante entre as faces, telhado de alumínio, estes com diferentes inclinações.

- ao forro - é possível encontrar aviários com forro de acortinado de polietileno (igual à cortina), material *Foil*[®], material com diferentes espessuras resultando em diferentes isolamentos.

- ao material da cama de frango - é possível encontrar no campo cama de frango feita de maravalha, casca de arroz, casca de café, bagaço de cana, areia, entre outros materiais, sendo que os três primeiros são os mais utilizados.

- ao comprimento - os comprimentos encontrados no campo são de 100 m, 120 m, 150 m, 160 m de comprimento no sentido longitudinal.

- à largura - as larguras encontradas no campo são de 9 m, 10 m, 12 m, 16 m, 20 m, 22 m, 24,5 m, 32 m de largura, sendo que os aviários com largura a partir de 20 m são considerados largos, e apresentam normalmente dificuldade em trocar o ar por não atingirem pressão estática adequada.

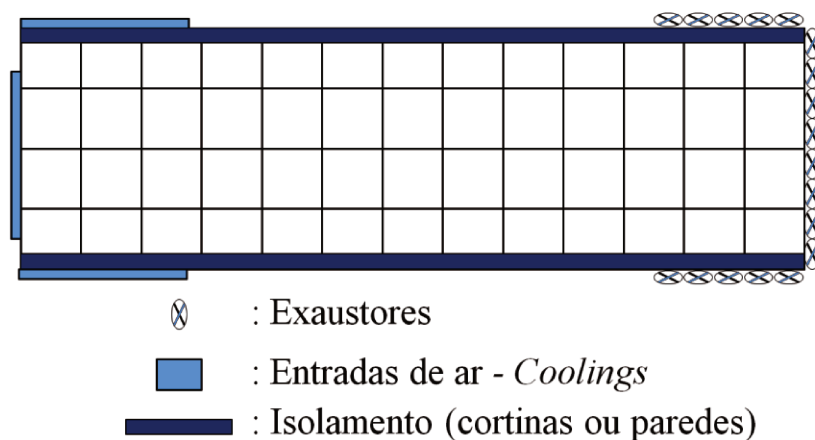


Figura 2. Aviário com sistema de ventilação tipo túnel de pressão negativa padrão.

2.6 Zootecnia de precisão

Segundo Wathes et al. (2008), a zootecnia de precisão pode ser definida como a administração da produção animal em galpões utilizando princípios e tecnologias da engenharia de produção.

A produção animal enfrenta desafios os quais exigem tecnologias para produção rigorosas, a fim de serem cumpridas de forma lucrativa e para minimizar impactos ambientais adversos, ao mesmo tempo em que asseguram a preservação da saúde e bem-estar animal. Neste sentido a Zootecnia de Precisão, antes conhecida como um sistema de gestão integrado (WATHES et al., 2008), trata a produção animal como um conjunto de processos interligados, que atuam em conjunto em uma rede complexa, sendo baseada na monitoração automática e contínua dos animais e dos processos físicos relacionados.

Os profissionais rurais eram responsáveis por um número de animais menores comparados a hoje, implicando a necessidade de automação do processo, os quais atuam em relação ao ambiente térmico, aéreo, comportamento animal, índice de atividade animal, consumo de água, consumo de ração, vocalização, mortalidade, ganho de peso, índices sanitários, condições ambientais externas às instalações, tecnologia estas que foram empregadas com a finalidade de auxiliar a administração, tomada de decisão e manejo da produção animal em tempo real e de forma mais homogênea, eficiente e assertiva. Neste sentido, já são utilizados modelos matemáticos e computacionais, capazes de reduzir o tempo e custos no desenvolvimento e adaptação de projetos, permitindo estudar aspectos estruturais e o desempenho dos animais.

As primeiras aplicações da Zootecnia de Precisão foram desenvolvidas na produção intensiva de suínos e de aves embora a abordagem da zootecnia de precisão possa ser aplicada em qualquer espécie pecuária, incluindo produção extensiva animal (FROST, 2001). A zootecnia de precisão pode ser utilizada para identificação animal, o monitoramento do crescimento animal, da produção de leite, da produção de carne, da produção avícola, de aspectos do comportamento animal, do ambiente físico das instalações dos animais e das emissões de gases poluentes. Autores utilizaram a zootecnia de precisão para avaliar o comportamento de frangos de corte através da análise de imagens (SEVEGNANI et al., 2005) que conseguiram associar a temperatura ambiente com o comportamento de diferentes idades das aves de se alimentar e beber água. Já Frost et al. (1997) afirmaram que a aplicação da tecnologia de sensores, banco de dados, modelos matemáticos e descoberta de conhecimento nos dados aplicados de forma

conjunta e interligados, são capazes de ampliar ao máximo o potencial da produção de animais em relação ao ambiente, produção, crescimento e saúde de suínos, frangos de corte e gado leiteiro.

2.6.1 Geoestatística

A geoestatística é uma ferramenta da estatística capaz de interpretar os resultados baseada na estrutura de sua variabilidade natural utilizando a modelagem da dependência espacial das variáveis por meio da semivariância. Os mapas de variabilidade espacial de dados revelam que a análise de um único ponto de medição deve ser feita com cautela, para que um valor sub ou superestimado não seja relatado como uma condição representante do fenômeno em estudo (MILES et al., 2008). Enquanto que métodos convencionais de análise de dados determinam os pesos dos valores das variáveis em função da distância, cujo raio de busca é arbitrário e a anisotropia e redundância são ignoradas, a geoestatística determina os pesos em função da correlação baseada no semivariograma, a área de influência é determinada pelo alcance, a anisotropia é utilizada para identificar continuidade espacial e trabalha com redundância agrupando as amostras.

A dependência espacial da colonização de *Campylobacter* em instalações de frangos de corte na Dinamarca foi estudada por meio da geoestatística, os quais conseguiram identificar regiões críticas onde a implementação de medidas de segurança auxiliaria na redução da prevalência desta epidemiologia (CHOWDHURY et al., 2013). Esta ferramenta também foi utilizadas para avaliação da distribuição das variáveis ambientais e mortalidade na carga de caminhões utilizados no transporte de frangos de corte na estação de inverno, sendo observado que no período da tarde foi o mais crítico (BARBOSA FILHO et al., 2009). Alguns estudos têm pesquisado a variabilidade espacial das variáveis relacionadas ao ambiente aéreo e as condições da cama no interior de galpões de produção de frangos de corte (TASISTRO et al., 2004; MILES et al., 2006; MILES et al., 2008). Silva et al. (2013) também estudaram a variabilidade climática e o peso de frangos de corte em galpões do tipo túnel de pressão negativa, o qual foi possível observar que fatores climáticos e temperatura da cama de frango influenciam diretamente o ganho de peso do lote.

O método da krigagem foi estudado na avaliação da influência de diferentes sistemas de ventilação mínima na ambiência térmica e aérea na fase inicial, sendo aviários com largura superior a 15 m apresentam maiores níveis de umidade e amônia indicando necessidade de melhoramento do manejo do sistema de ventilação mínima (CARVALHO et al., 2012). Para a avaliação e setorização de variáveis termoacústicas e de iluminação em instalações com sistema de ventilação convencional de frango de corte onde as aves estavam sob condições inadequadas nos horários mais quentes do dia recomendando resfriamento evaporativo (YANAGI JÚNIOR et al., 2011). Como também na avaliação da qualidade de cama e do ar de frangos de corte no primeiro dia de alojamento, observou-se que cama de frango com material de casca de arroz e café é o mais adequado e necessidade de intensificar aquecimento (CARVALHO et al., 2011). Da mesma forma, a geoestatística foi aplicada na análise espacial das condições do ambiente térmico, aéreo e acústico dentro da granja de produção de frango de corte, usando sistema de ventilação tipo túnel e densidade de 18 aves m⁻². Neste caso, esta ferramenta foi capaz de auxiliar o entendimento da relação entre variáveis aéreas, térmicas e acústicas (MIRAGLIOTTA et al., 2006). A geoestatística também auxiliou na avaliação de sistema de iluminação em aviários de frangos de corte o qual a melhor eficiência e desempenho foram observados em lâmpadas fluorescentes (PEREIRA et al., 2012).

2.6.2 Sistemas de controle

A otimização do desempenho de aviários de frango de corte pode ser realizada por meio da avaliação de parâmetros ambientais e de qualidade do ar em relação ao desempenho das aves e consumo de energia com a finalidade de que os produtores tomem decisões baseadas em informações gerenciadas. Uma forma de obter recomendações para a tomada de decisões seria baseando-se em informações de sensores posicionados de maneira estratégica (CORKERY et al., 2013). Um sistema de produção para instalações de frango de corte para monitoramento e análise integrada auxilia na melhoria do desempenho da produção e na redução dos custos de energia (CORKERY et al., 2013).

O crescimento dos custos de produção, bem como a pressão de diretivas de bem-estar na produção animal e a necessidade dos produtores de obterem lucros forma um cenário desafiador (WATHES et al., 2008; HYNES, 2011). Para isso, vem se utilizando o emprego de novas

tecnologias na indústria para melhorar e aperfeiçoar o sistema de produção. A *PLF – Precision Livestock Farm* (zootecnia de precisão nas instalações animais) envolve o uso de sensores no registro de dados, seguido por análises de dados com o objetivo de melhorar a compreensão das interações do sistema e desenvolvimento de sistemas de controle. Dentre os fatores que mais afetam o desempenho de frango de corte, destacam-se: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar (resultado da ventilação adequada), os quais influenciam o metabolismo das aves e equilíbrio da água no corpo (YAHAV et al., 2001; YAHAV et al., 2005). Como resultado das condições indesejáveis em aviários, ocorre a redução do ganho de peso e conversão alimentar (ABU-DIEYEH, 2006) e altas taxas de mortalidade (FERREIRA et al., 2011).

Fatores ambientais de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, vazão do ar, iluminância e concentração de gases como o dióxido de carbono podem afetar a fisiologia das aves. Novas maneiras de investigação surgiram como a vocalização, considerada uma resposta das aves em relação ao ambiente que estas estão inseridas (MOURA et al., 2008; MOLLO et al., 2009).

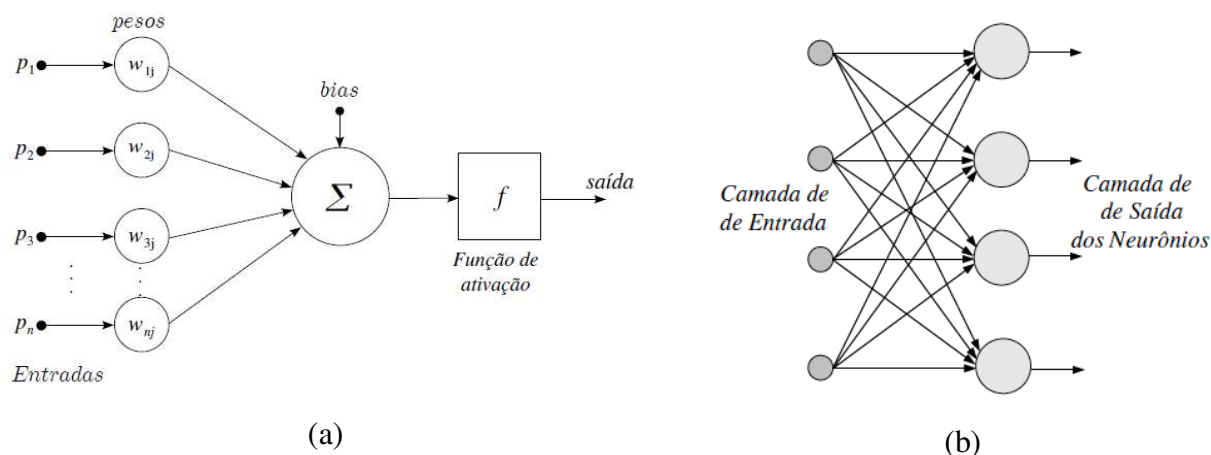
Na produção animal, já existem alguns exemplos de comercialização de técnicas PLF, os quais incluem o uso da robótica na produção de leite, medição do consumo de água, contagem de ovos, pesagem de aves em tempo real, melhor controle de ambiente (temperatura e umidade) em aviários por meio de controladores e sensores que agem nos sistemas de resfriamento e aquecimento, sistemas de alimentação computadorizado, detecção automática de doença, medida de crescimento e captura de imagens para avaliação de comportamento em tempo real nas baias para produção de suínos (GUARINO et al., 2008; BANHAZI et al., 2012).

2.6.3 Redes Neurais

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são ferramentas de Inteligência Artificial que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência, ela se adapta e aprende a realizar certa tarefa, ou comportamento, a partir de um conjunto de exemplos dados. A aplicação das RNAs torna-se bastante interessante em relação às características deste tipo de ferramentas, tais como: robustez, generalização, paralelismo e tolerância ao ruído. As RNAs são compostas por várias unidades de processamento de informação nas quais cada uma recebe um determinado peso.

O modelo artificial de neurônio (Figura 3 - a) é uma generalização do modelo de McCulloch e Pitts (MCCULLOCH & PITTS, 1943; HAYKIN, 1999). Esse modelo inclui um sinal adicional bias (b) responsável por favorecer ou limitar a possibilidade de ativação do neurônio. O processo sináptico está representado pelos pesos (w) que amplificam cada um dos sinais recebidos. A chamada função de ativação (f) modela a forma como o neurônio responde ao nível de excitação, limitando e definindo a saída da rede neural. A função de ativação apresenta diferentes funções de ativação, dentre elas: limiar, linear e sigmóide, os quais variam de acordo com o objetivo do projeto. Basicamente, os itens que compõem a estrutura de uma rede neural são:

- Camadas intermediárias
- Quantidade de neurônios
- Função de transferência
- Algoritmo de aprendizado



Fonte: Adaptado de Vieira (2008)

Figura 3. Modelo das redes neurais de modelo biológico (a) e com camada única (b).

Os algoritmos (regras) de aprendizagem são estruturados quando se utiliza redes neurais. A rede neural em camadas apresenta neurônios organizados na forma de camadas (Figura 3 - b). O termo “camada única” se refere à camada de saída de nós computacionais (neurônios).

O aprendizado das redes neurais pode ser de forma supervisionada ou não supervisionada. No aprendizado supervisionado, o usuário confere o quanto a rede está próxima de uma solução aceitável, adaptando os pesos entre os neurônios na concepção do treinamento, enquanto que no

aprendizado não supervisionado, inicialmente, as saídas da rede não são conhecidas, funcionando de modo a distinguir classes de padrões diferentes dos dados apresentados à rede, através de algoritmos de aprendizado baseados geralmente em conceitos de vizinhança e agrupamento.

O algoritmo *feedforward* pode ser definido como um sistema o qual age às mudanças do ambiente amostral de dados e, desta forma, calcula o erro da rede. Diante disso, é considerado um algoritmo limitado devido à falta de ciclos. Já o algoritmo *backpropagation* procura identificar iterativamente a mínima diferença entre as saídas desejadas e as saídas obtidas pela rede neural, com o mínimo de erro, por meio do ajuste de pesos entre as camadas através da retropropagação do erro encontrado em cada iteração. Essa regra é um dos tipos de treinamento supervisionado, onde a rede é analisada em dois casos: na sua propagação (camada por camada) e principalmente, na sua retropropagação (*backpropagation*). Baseado nesses dois casos foi desenvolvido a rede *feedforward-backpropagation*, na qual há um caminho percorrido de propagação padrão da *feedforward* seguido por retropropagação de erro e, assim, o erro da rede é calculado e posteriormente corrigido pelo processo de *backpropagation*.

A técnica de Redes Neurais Artificiais apresentou sucesso quando utilizada na identificação de padrões de ocorrência de ascite em frangos (ROUSH et al., 1996). Essa técnica também vem sendo utilizada para gerenciamento de incubatórios (SALLE, 2005) para a avaliação de perfil de resistência antimicrobiana em aves e para a classificação de patogenicidade de *Escherichia coli* em linhagens aviárias (SALLE, 2006; SALLE, 2009). Vieira (2010) utilizou redes neurais para reconhecimento de padrões relacionados a operações pré-abate para predição de perdas produtivas. A técnica foi utilizada na predição de índices zootécnicos - pesos de leitões e número de leitões mumificados em relação à temperatura de bulbo seco e às variáveis fisiológicas de porcas gestantes - taxa respiratória (PANDORFI et al., 2011).

2.6.4 CFD - Dinâmica dos fluidos computacional

A Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD – *Computational Fluid Dynamics*) é a ciência que, através de códigos computacionais, gera predições quantitativas de fluxos, baseados nas leis de conservação de massa, momento, espécies e energia. Essas predições ocorrem em função de condições predefinidas do fluxo (condições limites), gerando valores de suas variáveis como pressão, velocidade do ar e temperatura, dentro de um campo, ou domínio, em regimes estacionários ou transientes (KUNDU et al., 2002). Também pode ser aplicado em transferência

de calor, transferência de massa (difusão, dissolução), mudança de fase (fusão, solidificação, ebulição, condensação), reações químicas (combustão, oxidação), aspectos mecânicos (movimento de pistões, hélices, palhetas) e tensões e deslocamento de sólidos imersos ou circundantes.

Uma das grandes vantagens dos modelos baseados em CFD é permitir a redução do número de repetições dos experimentos e aperfeiçoar instalações a partir da validação dos dados experimentais, tornando-se, cada vez mais importante na agropecuária. Esta importância vem crescendo, uma vez que os principais problemas desta ferramenta como a pouca precisão nas simulações e falta de equipamentos computacionais adequados, vêm sendo solucionados, o que tem permitido uma maior aplicabilidade desta técnica nos últimos anos.

Os programas de CFD baseiam-se na solução de equações de Navier-Stokes, ou seja, equações da conservação da massa, momento e energia. A precisão e a qualidade dos resultados provenientes da modelagem de CFD estão fortemente associadas com as grandezas físicas a partir das condições limites no domínio do fluxo, bem como os métodos estão relacionados com as condições limites para o fluxo de ar nas entradas e saídas de ar. Muitas vezes, a qualidade dos resultados depende muito do grau de conhecimento e habilidade do usuário em se trabalhar com a simulação, como também a quantidade de *grids* para representar o espaço e o refinamento adequado das malhas para resolução dos gradientes locais.

A modelagem CFD vem sendo amplamente aplicada em construções rurais a fim de solucionar problemas com trocas de ar e auxiliar em um ambiente adequado à produção em relação ao conforto térmico, bem-estar animal e qualidade do ar. Neste sentido podemos citar inúmeras pesquisas, onde simulações CFD são utilizadas para analisar fluxos de ar, levando em consideração o sistema de ventilação e as instalações animais (BJERG et al., 2002; BARTZANAS et al., 2007; BLANES-VIDAL et al., 2008; LEE et al., 2009; SEO et al., 2009; TINÔCO et al., 2010; BUSTAMANTE et al., 2013). A turbulência não deve ser subestimada já que o fluxo no exterior da edificação é sensível a esta variável, podendo alterar significativamente o fluxo nas aberturas e no interior da edificação (AYAD, 1999).

Assumindo a importância da concentração de gases no interior das instalações, diversos estudos têm sido feitos para avaliar a qualidade do ar em instalações. Neste sentido, foram analisadas as doenças presentes numa granja avícola e comparou a relação entre a difusão do gás amônia (NH_3) e a dispersão de partículas de vírus dessas patologias (PAWAR et al., 2007), como

também o desenvolvimento de um modelo CFD para estudar a ventilação natural de uma instalação de bezerros sob diferentes incidências de vento, para três diferentes aberturas de área. Para isso foi utilizado um modelo em escala reduzida, e validadas as previsões CFD de distribuição de fluxo de ar, qualitativa e quantitativamente (NORTON et al., 2009).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi conduzido em quatro aviários comerciais localizados na região de Campinas-SP. Os aviários *Blue House* (BH), *Dark House* (DH) e *Solid Wall* (SW) estão localizados na cidade de Amparo-SP (latitude 22°42'04" sul, longitude 46°45'52" oeste, altitude de 674 m), enquanto que o aviário *Double Wide House* (DWH) está localizado em Socorro-SP (latitude 22°35'29" sul e longitude 46°31'44" oeste, altitude de 752 m). Os dados ambientais no interior e exterior do aviário e as concentrações de gases foram registrados quando as aves da linhagem *Cobb Vantress 500* apresentavam 21, 28, 35 e 42 dias de idade, às 9h00min e às 14h00min, no período do verão e do inverno. Os dados foram registrados em dias distintos no verão de 2011/2012 para os aviários BH, DH e SW e, no verão de 2012/2013 para o aviário DWH, já os dados de inverno foram registrados no inverno de 2012 para os aviários BH, DH, DWH e SW.

Os aviários avaliados apresentavam diferentes tipologias, dentre elas:

- Aviário *Blue House*: cortinas laterais, sistema de ventilação artificial de pressão negativa com exaustores e sem uso de painel evaporativo;
- Aviário *Dark House*: cortinas laterais, sistema de ventilação artificial de pressão negativa com exaustores e painel evaporativo de tijolo cerâmico;
- Aviário *Double Wide House*: cortinas laterais, sistema de ventilação artificial de pressão negativa com exaustores e painel evaporativo de celulose e
- Aviário *Solid Wall*: parede de alvenaria nas laterais, isolamento lateral de cortinas, sistema de ventilação artificial de pressão negativa com exaustores e painel evaporativo de celulose.

3.1 Descrições dos aviários

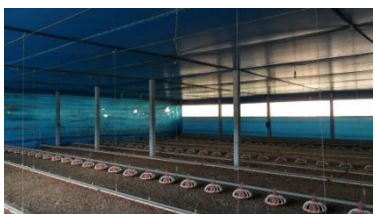
A descrição dos quatro aviários com diferentes tipologias se apresenta nos itens a seguir separadamente.

3.1.1 Aviário *Blue House*

O aviário *Blue House* apresenta as seguintes características:

- Tipologia da instalação: aviário com sistema de ventilação artificial de pressão negativa com entrada de ar na face oposta aos exaustores.

- Localização: município de Amparo-SP (latitude 22°45'43" sul, longitude 46°47'43" oeste, altitude de 706 m) e clima Cwa com duas estações bem definidas (conforme classificação de Köppen) com orientação noroeste-sudeste.
- Isolamento: telhado feito de telhas fibrocimento com inclinação de 14°, forro de cortinado de polietileno na cor azul, paredes laterais de cortinado de polietileno na cor azul na face interna e prata na face externa (Figura 4 a).
- Materiais construtivos: estrutura de alvenaria nos pilares e vigas, estrutura de madeira para sustentação do telhado, piso de concreto, mureta com 0,30 m de altura de alvenaria e tela anti-pássaro (diâmetro de 0,02 m).
- Sistema de ventilação: sistema de ventilação composto por dez exaustores modelo VA130 (50"), Casp[®], com diâmetro de 1,38m, hélice com três pás e motor de 1 CV – trifásico, com veneziana e cone com grade de proteção e vazão nominal de 38.000 m³ h⁻¹ (pressão de 0 Pa), a distribuição dos exaustores está demonstrada na Figura 4 (c) e na Figura 5.
- Sistema de resfriamento: sistema de resfriamento composto por nebulização na entrada de ar na face oposta aos exaustores (entrada de ar com dimensões de 15,40 x 1,95 m) e linhas de nebulização dispostas no sentido transversal em todo o comprimento do aviário com espaçamento de 3,2 m entre elas. Este aviário não possui painel evaporativo (Figura 4 b).
- Dimensões: 17,00 x 90,00 x 2,45 m (largura x comprimento x pé-direito).
- Densidade das aves: 15 aves m².
- Comedouros: 4 linhas de comedouros automáticos (Figura 4 a e Figura 5).
- Bebedouros: 8 linhas de bebedouros tipo *nipple* (Figura 4 a e Figura 5).
- Cama de frango: material de maravalha reutilizada de segundo lote com 0,05 m de altura.



(a)



(b)



(c)

Figura 4. Aviário do tipo *Blue House* com sistema de ventilação de pressão negativa. (a) vista interna da granja, (b) vista da entrada de ar e (c) vista dos exaustores.

A Figura 5 apresenta as dimensões da granja avaliada com maiores detalhes.

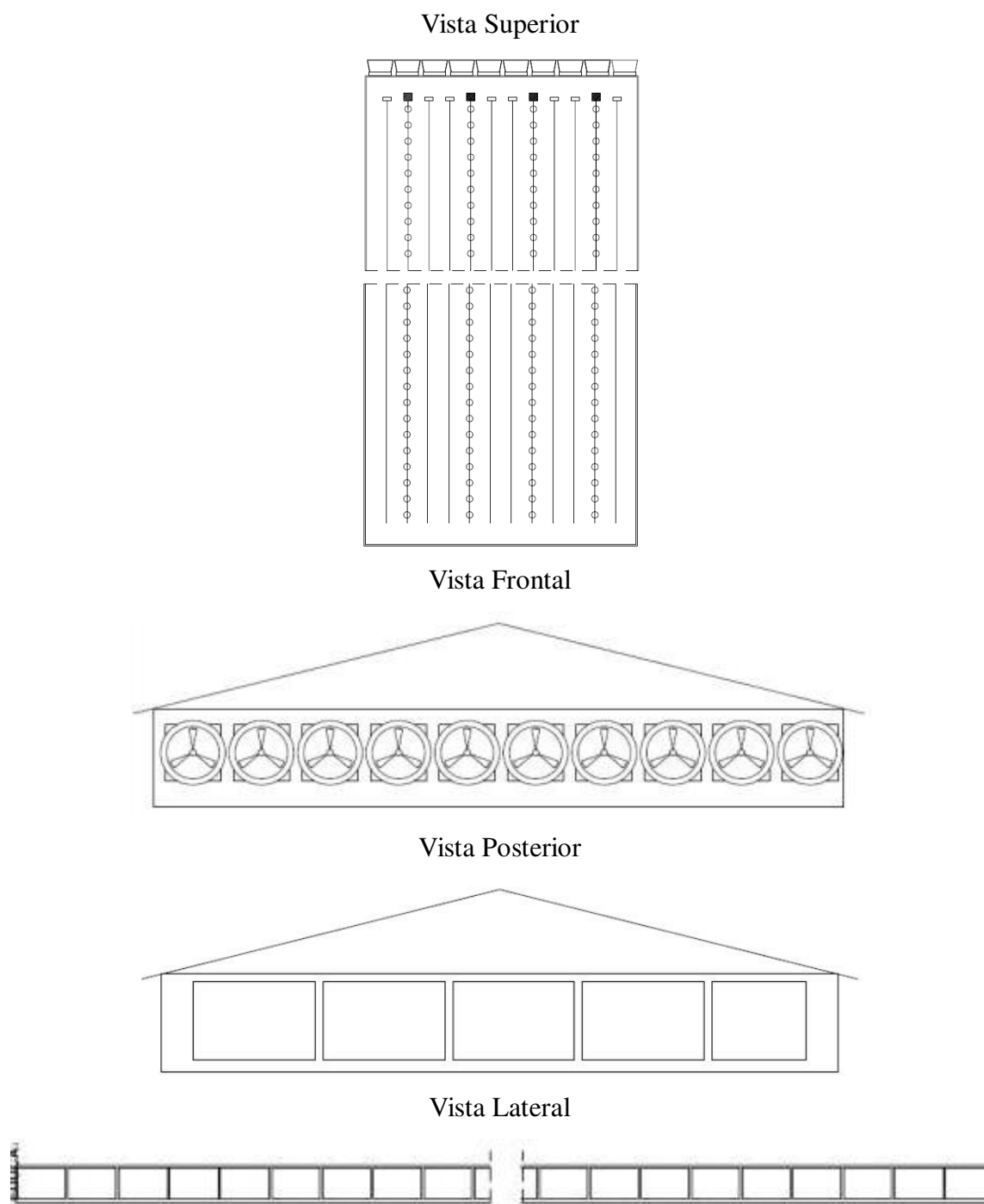
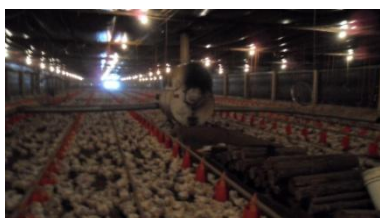


Figura 5. Vista superior, frontal, posterior e lateral do aviário do tipo *Blue House* com sistema de ventilação de pressão negativa.

3.1.2 Aviário *Dark House*

O aviário *Dark House* apresenta as seguintes características:

- Tipologia da instalação: aviário com sistema de ventilação artificial de pressão negativa com entrada de ar na face oposta aos exaustores e nas paredes laterais no final do aviário.
- Localização: município de Amparo/SP (latitude 22°44'01" sul, longitude 46°44'02" oeste, altitude de 706 m) e clima Cwa com duas estações bem definidas (conforme classificação de Köppen) com orientação noroeste-sudeste.
- Isolamento: telhado de telhas fibrocimento com inclinação de 11°, forro de cortinado de polietileno na cor preta, isolamento lateral de cortinado de polietileno na cor preta na face interna e prata na face externa.
- Materiais construtivos: estrutura de alvenaria nos pilares e vigas, estrutura metálica para sustentação do telhado, piso de concreto, mureta com 0,40 m de altura de alvenaria e tela anti-pássaro (diâmetro de 0,02m).
- Sistema de ventilação: sistema de ventilação composto por dezesseis exaustores modelo Piffer, Big Dutchman®, com diâmetro de 1,30m, hélice com três pás e motor de 1,5 CV – trifásico, com veneziana e cone com grade de proteção e vazão nominal de 38.000 m³ h⁻¹ (pressão de 0 Pa), a distribuição dos exaustores está demonstrada na Figura 6 (c) e Figura 7.
- Sistema de resfriamento: sistema de resfriamento composto por painel evaporativo de tijolos cerâmicos com 12 furos (*painel evaporativo* lateral com dimensões de 20,12 x 2,24 m e posterior com dimensões de 12,30 x 2,63 m), os quais eram molhados por meio de nebulizadores (Figura 6 b e Figuras 7), estes estavam localizados na face oposta aos exaustores e nas laterais no fundo do aviário e linhas de nebulização dispostas no sentido transversal em todo o comprimento do aviário com espaçamento de 8,80 m entre elas.
- Dimensões: 20,00 x 150,00 x 2,90 m (largura x comprimento x pé-direito).
- Densidade das aves: 12 aves m².
- Comedouros: 5 linhas de comedouros automáticos (Figura 6 a e Figura 7).
- Bebedouros: 10 linhas de bebedouros tipo *nipple* (Figura 6 a e Figura 7).
- Cama de frango: material de maravalha reutilizada de segundo lote com 0,08 m de altura.



(a)



(b)



(c)

Figura 6. Aviário do tipo *Dark House* com sistema de ventilação de pressão negativa. (a) vista interna da granja, (b) vista da entrada de ar através do *painel evaporativo* e (c) vista dos exaustores.

A Figura 7 apresenta as dimensões da granja avaliada com maiores detalhes.

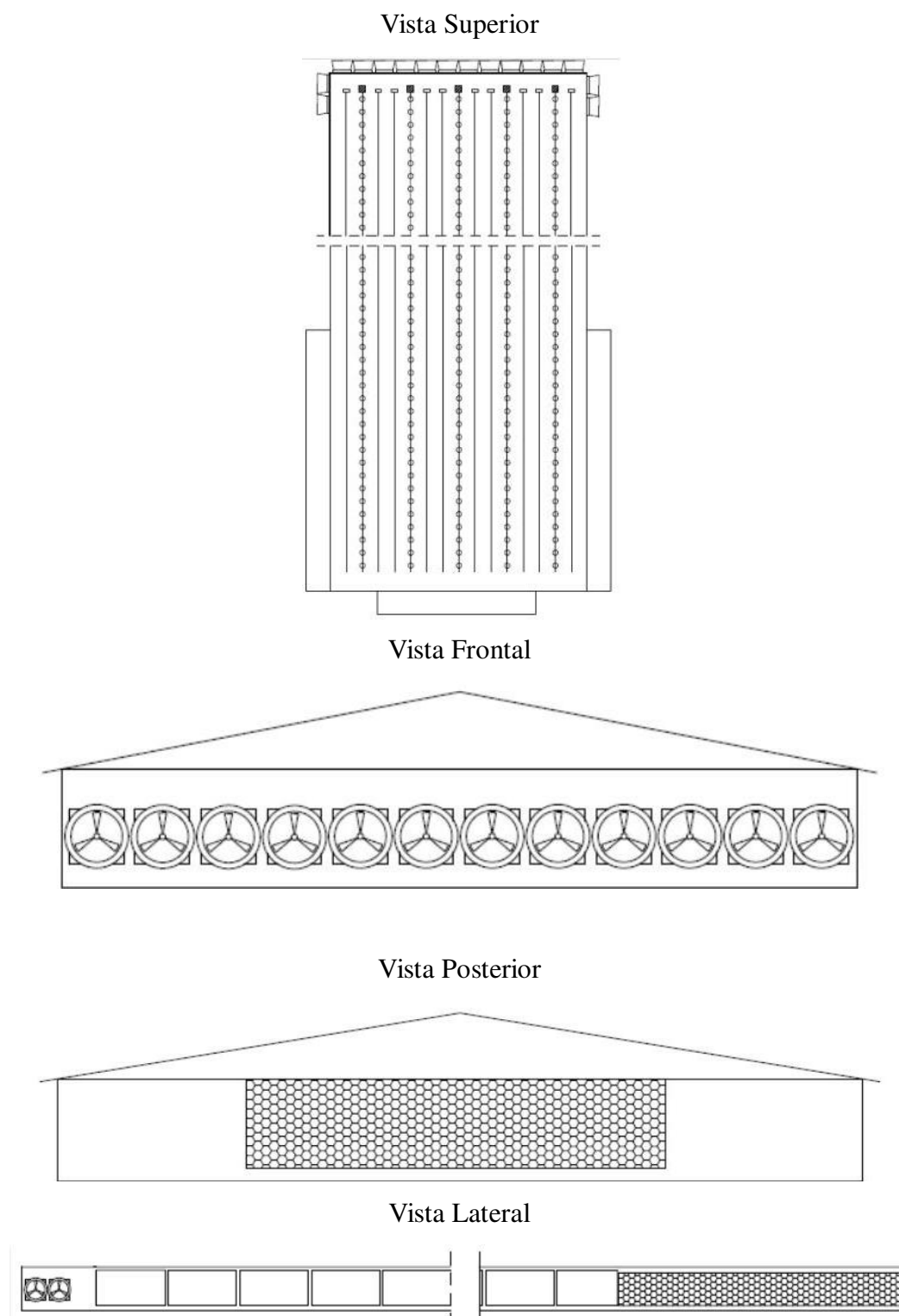


Figura 7. Vista superior, frontal, posterior e lateral do aviário do tipo *Dark House* com sistema de ventilação de pressão negativa.

3.1.3 Aviário *Double Wide House*

O aviário *Double Wide House* apresenta as seguintes características:

- Tipologia da instalação: aviário com sistema de ventilação artificial de pressão negativa com entrada de ar na face oposta aos exaustores e nas paredes laterais no final do aviário.
- Localização: município de Socorro-SP (latitude 22°35'29" sul, longitude 46°31'44" oeste, altitude de 706 m) e clima Cwa com duas estações bem definidas (conforme classificação de Köppen) com orientação norte-sul.
- Isolamento: isolamento do telhado por meio de telhas fibrocimento com inclinação de 11°, isolamento do forro por meio de cortinado de polietileno na cor preta, isolamento lateral por meio de cortinado de polietileno na cor preta na face interna e prata na face externa (Figura 8 a).
- Materiais construtivos: estrutura de alvenaria nos pilares e vigas, estrutura de madeira para sustentação do telhado, piso de concreto, mureta com 0,50 m de altura de alvenaria e tela anti-pássaro (diâmetro de 0,02 m).
- Sistema de ventilação: sistema de ventilação composto por quinze exaustores, VAL-CO® EUA (50"), com diâmetro de 1,30m, hélice com três pás e motor de 1,5 CV – trifásico, com veneziana e cone com grade de proteção e vazão nominal de 50.460 m³ h⁻¹ (pressão de 0 Pa), demonstrado na Figura 8 (c) e Figura 9.
- Sistema de resfriamento: sistema de resfriamento composto por painel evaporativo de celulose (painel evaporativo lateral com dimensões de 21,20 x 1,84 m e posterior com dimensões de 12,90 x 1,84 m), os quais estavam localizados na face oposta aos exaustores e nas laterais no fundo do aviário e linhas de nebulização dispostas no sentido transversal em todo o comprimento do aviário com espaçamento de 12,00 m entre elas (Figura 8 a e Figura 8 b).
- Dimensões: 24,50 x 160,00 x 2,40 m (largura x comprimento x pé-direito) (Figura 9).
- Densidade das aves: 12 aves m².
- Comedouros: 6 linhas de comedouros automáticos.
- Bebedouros: 10 linhas de bebedouros tipo *nipple*.
- Cama de frango: material de maravalha reutilizada de segundo lote com 0,08 m de altura.



(a)



(b)



(c)

Figura 8. Aviário do tipo *Double Wide House* com sistema de ventilação de pressão negativa. (a) vista lateral da granja, (b) vista da entrada de ar através do painel evaporativo e (c) vista dos exaustores.

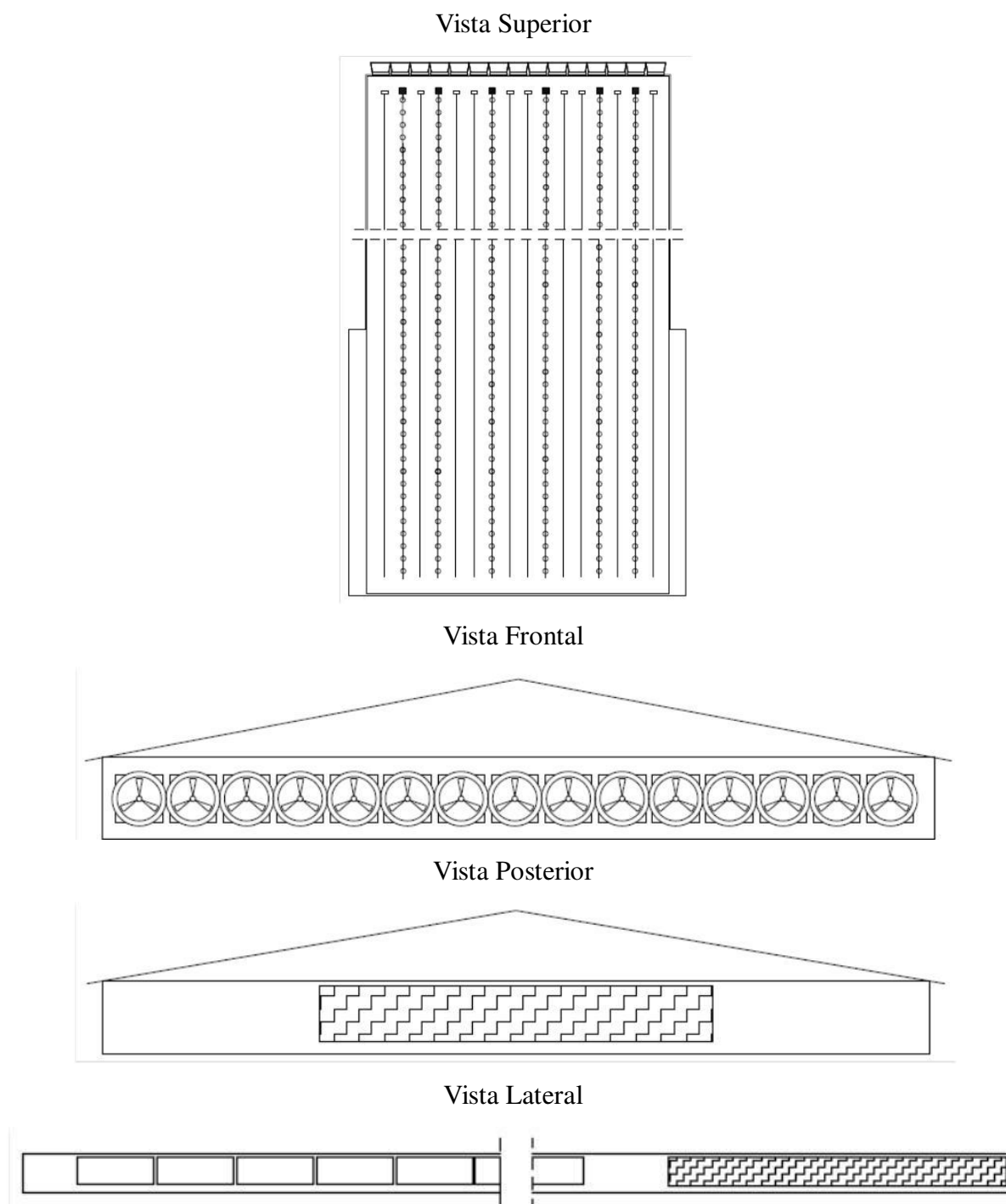


Figura 9. Vista superior, frontal, posterior e lateral do aviário do tipo *Double Wide House* com sistema de ventilação de pressão negativa.

3.1.4 Aviário *Solid Wall*

O aviário *Solid Wall* apresenta as seguintes características:

- Tipologia da instalação: aviário com sistema de ventilação artificial de pressão negativa com entrada de ar na face oposta aos exaustores e nas paredes laterais no final do aviário.
- Localização: município de Amparo-SP (latitude 22°45'37" sul, longitude 46°46'42" oeste, altitude de 706 m) e clima Cwa com duas estações bem definidas (conforme classificação de Köppen) com orientação norte-sul.
- Isolamento: isolamento do telhado por meio de telhas fibrocimento, isolamento do forro por meio de cortinado de polietileno na cor azul, isolamento lateral por meio de paredes de alvenaria construída com bloco cimento.
- Materiais construtivos: estrutura metálica nos pilares, vigas e sustentação do telhado, com piso de concreto.
- Sistema de ventilação: sistema de ventilação composto por 16 exaustores modelo BF50 (50"), Casp[®], com diâmetro de 1,38m, hélice com três pás e motor de 1,0 CV – trifásico, com veneziana e cone com grade de proteção e vazão nominal de 41.100 m³ h⁻¹ (pressão de 0 Pa), a distribuição dos exaustores está demonstrada na Figura 10 (c) e na Figura 11.
- Sistema de resfriamento: sistema de resfriamento composto por painel evaporativo de celulose (painel evaporativo lateral com dimensões de 18,60 x 1,80 m e posterior com dimensões de 10,55 x 1,80 m), estes estavam localizados na face oposta aos exaustores e nas laterais no fundo do aviário (Figura 10 d) e linhas de nebulização dispostas no sentido transversal em todo o comprimento do aviário com espaçamento de 9,0 m entre elas.
- Dimensões: 20,00 x 120,00 x 3,00 m (largura x comprimento x pé-direito).
- Densidade das aves: 13 aves m⁻².
- Comedouros: 5 linhas de comedouros automáticos (Figura 10 a e Figura 11).
- Bebedouros: 10 linhas de bebedouros tipo *nipple* (Figura 10 a e Figura 11).
- Cama de frango: material de maravalha reutilizada de segundo lote com 0,05 m de altura.



(a)



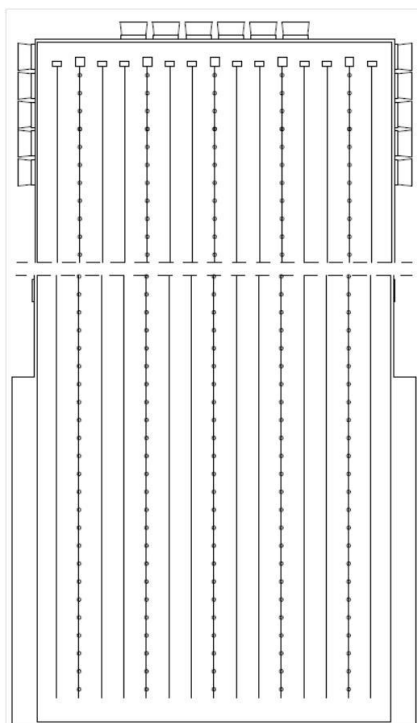
(b)



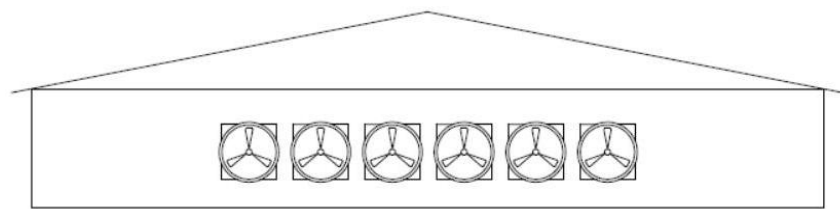
(c)

Figura 10. Aviário do tipo *Solid Wall* com sistema de ventilação de pressão negativa. (a) vista interna da granja, (b) vista da entrada de ar/*painel evaporativo* e (c) vista das laterais.

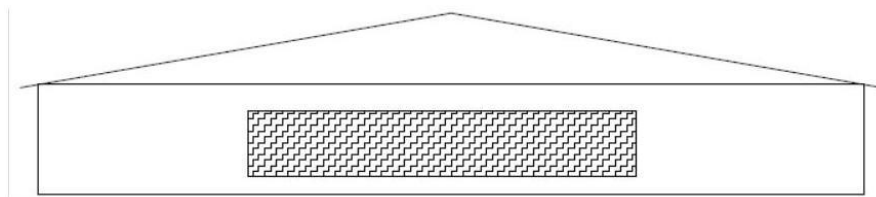
Vista Superior



Vista Frontal



Vista Posterior



Vista Lateral

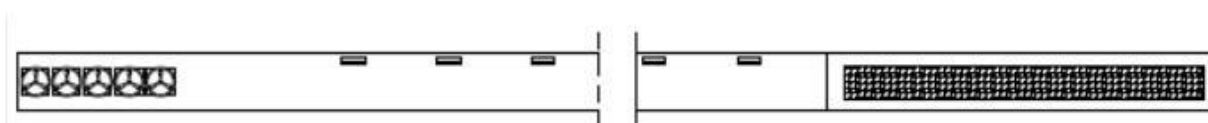


Figura 11. Vista superior, frontal, posterior e lateral do aviário do tipo *Solid Wall* com sistema de ventilação de pressão negativa.

3.2 Monitoramento das condições externas

As condições externas de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa e velocidade do ar foram mensuradas por meio de uma estação meteorológica, HOBO®, a qual registrou os dados ambientais com intervalo de um minuto. Desta forma, foi utilizada a média das variáveis mensuradas pela estação no período entre o começo e o fim das medições dos dados no interior das instalações para frango de corte.

A estação meteorológica foi instalada na propriedade do aviário *Dark House*, com o cuidado de ser em um local aberto para não haver interferência de construções ou árvores, plano, com forração de gramíneas no piso e protegido de animais (Figura 12). Os dados registrados por esta estação foram utilizados para as demais granjas.



Figura 12. Estação Meteorológica, Hobo®.

3.3 Monitoramento das condições internas

3.3.1 Ambiente térmico

O monitoramento das condições climáticas no interior dos aviários foi realizado semanalmente quando as aves alcançaram a fase final de produção, ou seja, quando as aves estavam com 21, 28, 35 e 42 dias de idade. Os dados foram registrados de forma manual em dois horários distintos, sendo às 9h00min e às 14h00min, no período do verão (janeiro de 2012 e

janeiro de 2013) e no período do inverno (julho de 2012 e julho de 2013). O registro dos dados utilizava aproximadamente 30 minutos.

Nos quatros diferentes aviários de frango de corte, as variáveis ambientais foram registradas na altura das aves (0,30 m do piso), em 52 pontos distintos e equidistantes, para posterior análise geoestatística (Figura 13).

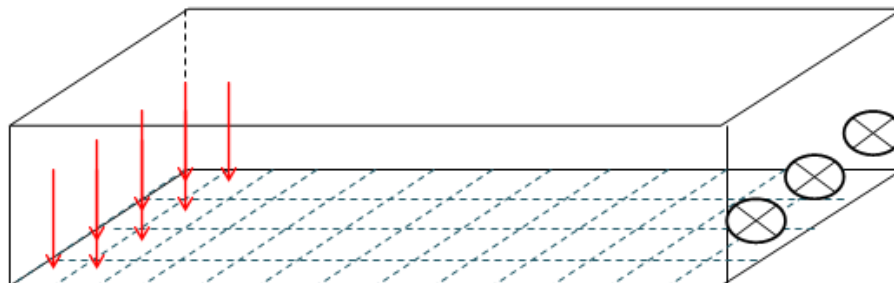


Figura 13. Distribuição dos 52 pontos de registro das variáveis ambientais, na altura das aves.

O monitoramento do ambiente térmico foi realizado registrando dados de temperatura de bulbo seco (Tbs, °C), umidade relativa (UR, %) e velocidade do ar (Var, m s^{-1}). Os dados de Tbs e Var foram registrados por meio de um anemômetro de fio quente VelociCalc® (TSI_{TM}), com escala de leitura para temperatura de -18 a 93 °C e resolução 0,1 °C, e velocidade do ar com amplitude de 0 a 30 m s^{-1} , resolução de velocidade de 0,01 m s^{-1} e exatidão de $\pm 0,015 \text{ m s}^{-1}$, ilustrado na Figura 14.



Figura 14. Anemômetro de fio quente VelociCalc® da marca TSI_{TM}.

Para os dados de UR foram coletados por meio do equipamento THDL 400 (*Instrument*[®]), com amplitude de 25 a 95% e precisão de $\pm 5\%$, conforme mostra a Figura 15.



Figura 15. Equipamento THDL 400, da marca *Instrutherm*[®].

A pressão estática foi coletada por meio do equipamento MN 2150 (ICEL[®]), com amplitude de 0 a 100 psi e precisão de $\pm 10\%$, conforme mostra a Figura 16.



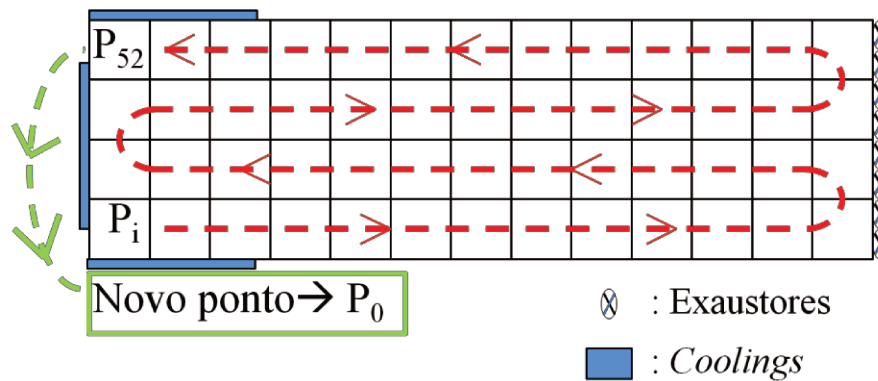
Figura 16. Equipamento MN 2150, da marca ICEL[®].

3.3.1.1 Correção numérica

Para as variáveis ambientais de Tbs e UR foi realizado o método de correção numérica dos erros ocasionados pela defasagem de tempo dos registros de forma manual durante o monitoramento de variáveis ambientais de interesse à produção animal. Esta correção foi

realizada adaptado da metodologia proposta por Barato et al. (2006) e Barbosa Filho et al. (2011), que consiste em corrigir a diferença de tempo de coleta dos equipamentos e dos pontos de coleta manual, para que tais aferições independam do tempo gasto durante a aferição. Para isso foram mensurados os dados nos 52 pontos de coletas, já mencionados anteriormente (Figura 13), e antes de terminar a coleta, realiza-se novamente a coleta de Tbs e UR no primeiro ponto de coleta, variáveis estas que se alteram com o passar do tempo em função das condições externas.

A Figura 17 esquematiza como foi realizada a coleta de dados, sendo o ponto “P_i” o ponto de início da coleta de dados e “P₅₂” o ponto final, como pode ser observado na linha que percorre toda a extensão do aviário. Finalizada a coleta dos dados, a temperatura e umidade relativa do ponto inicial “P_i” era aferida novamente (tornado-se: “P₀”) permitindo a correção dos demais pontos como pode ser observado na Equação 7.



P₅₂ – ponto final de coleta dos dados, P_i – ponto inicial da coleta dos dados, P₀ – ponto novamente aferido da coleta dos dados.

Figura 17. Ajuste das variáveis climáticas.

$$Delta = \frac{(P_i - P_0)}{52} \text{ (Equação 7)}$$

Onde:

Delta = diferença média entre o valor do primeiro ponto e o valor deste mesmo ponto no final da coleta de dados.

P_i = primeiro ponto onde foi registrado as variáveis climáticas.

P_0 = é o novo ponto onde foi registrado as variáveis na posição P_i (Figura 17), ou seja, depois de registrar as variáveis no último ponto (P_{52}), retorna-se no primeiro ponto e registra neste ponto a variável novamente.

Os demais pontos foram corrigidos de acordo com a Equação 8 que considera como “ P_i ” como tempo zero, e os pontos subsequentes como tempo 1, 2,até o ponto 51.

$$P_{\text{corrigido}} = P_i + (\text{Delta} \times \text{Tempo}) \text{ para } i = 0, 1, 2, 3, \dots, 51 \text{ (Equação 8)}$$

Onde:

$P_{\text{corrigido}}$ = são as variáveis corrigidas segundo a metodologia proposta.

P_i = dado original, ou seja, variável registrada no ponto antes da correção.

Delta = diferença média entre o valor do primeiro ponto e o valor deste mesmo ponto no final da coleta de dados.

Tempo = valor que varia entre 0 e 51, sendo 0 o tempo do primeiro ponto coletado (P_i) e 51 o último (P_{52}) (considera que todos os pontos levaram o mesmo tempo para serem registrados).

3.3.2 Ambiente aéreo

O monitoramento das condições da qualidade do ar no interior dos aviários foi realizado quando as aves alcançaram a fase final de produção, ou seja, quando as aves estavam com 21, 28, 35 e 42 dias de idade, da mesma forma com que foram monitorados os dados ambientais. Os dados foram registrados em dois horários distintos, sendo às 9h00min e às 14h00min, no período do verão (janeiro de 2012 e janeiro de 2013) e no período do inverno (julho de 2012 e julho de 2013).

Nos quatro diferentes aviários de frango de corte, as variáveis ambientais foram registradas em três alturas distintas, baseado na metodologia proposta por Lima (2012): 0,3 m, 1,0m e 1,6 m em relação ao piso, em 52 pontos distintos e equidistantes (Figura 18).

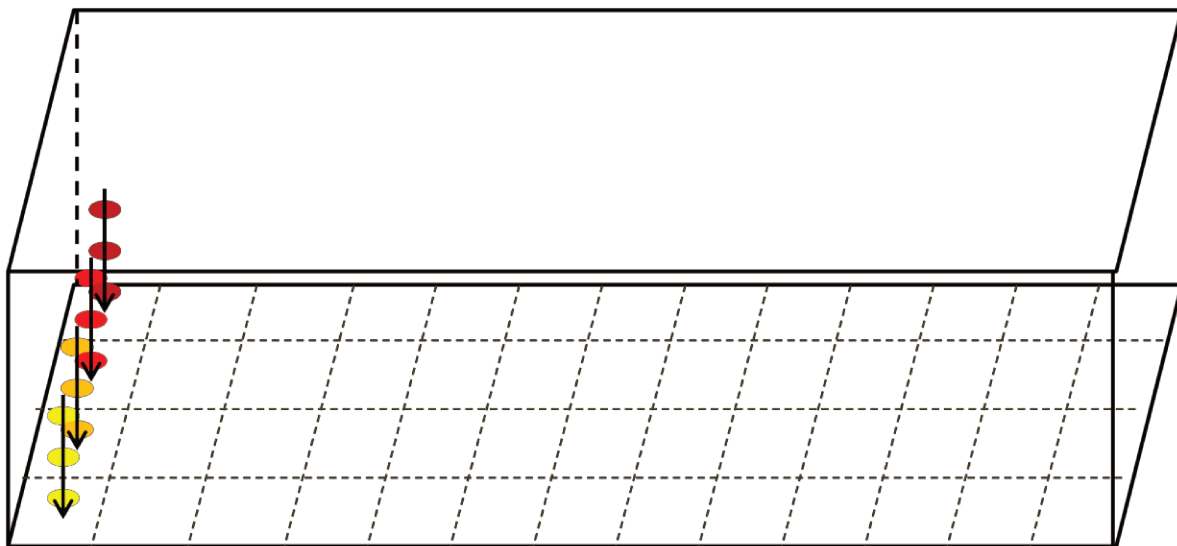


Figura 18. Distribuição dos 52 pontos de registro das variáveis de concentração de gases, nas três alturas (0,3 m, 1,0 m e 1,6 m de altura em relação ao piso).

O monitoramento da qualidade do ar foi realizado registrando dados de concentração de dióxido de amônia (NH_3 , ppm) e concentração de dióxido de carbono (CO_2 , ppm). Os dados de NH_3 e CO_2 foram registrados por meio de um medidor instantâneo de concentração de gases GasAlertMicro 5, BW Technologies[®], ilustrado na Figura 19.



Figura 19. Equipamento GasAlertMicro 5, BW Technologies[®].

3.4 Índice de conforto térmico

O índice de temperatura e umidade (ITU), também conhecido como Índice de Conforto Térmico foi calculado por meio da Equação 9, proposto por Thom (1959). O índice foi calculado para os cenários mais críticos na produção de frango de corte, ou seja, no horário das 14h00min, para o período de verão e inverno.

$$ITU = T_{bs} + (0,36 \times T_{po}) + 0,42 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

ITU = Índice de Temperatura e Umidade, °C.

Tbs = Temperatura de bulbo seco, °C.

Tpo = Temperatura de ponto de orvalho, °C.

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) foi cal, por meio da eq.(1), proposta por Thom (1959) e citada por Carvalho et al. (2009), calculados para os 108 cenários observados nos experimentos. O ITU foi classificado em Conforto (entre 64 e 74), Alerta (entre 74 e 78) e Perigo entre 78 e 84 conforme Oliveira et al. (2006).

A Tpo foi calculada a partir de equações psicrométricas propostas por Wilhelm citado por Jesus & Silva (2002), tendo como entrada a Tbs e a UR. Para o cálculo da Tpo foram calculadas as seguintes propriedades psicrométricas do ar: pressão de vapor de saturação (Pvs, Equação 10), umidade absoluta na saturação (Uas, Equação 11), Pressão de vapor (Pv, Equação 12), umidade absoluta (Ua, Equação 13) e Temperatura de ponto de orvalho (Tpo, Equação 14).

$$\ln(P_{vs}) = \frac{-7511,52}{T_{bs}} + 89,63121 + 0,02399897 \times T_{bs} - 1,165451 \times 10^{-5} \times T_{bs}^2 - 1,281033610^{-8} \times T_{bs}^3 + 2,099840510^{-11} \times T_{bs}^4 - 12,150799 \times \ln(T_{bs})$$

(Equação 10)

Onde:

Pvs = pressão de vapor de saturação, Pa.

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C.

$$U_{as} = 0,62198 \times \frac{P_{vs}}{P - P_{vs}} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

U_{as} = umidade absoluta de saturação, %.

P = pressão atmosférica, Pa.

$$UR = \frac{P_v}{P_{vs}} \text{ (Equação 12)}$$

Onde:

UR = umidade relativa do ar, %.

$$U_{as} = 0,62198 \times \frac{P_v}{P - P_v} \text{ (Equação 13)}$$

Onde:

P_v = pressão de vapor, Pa.

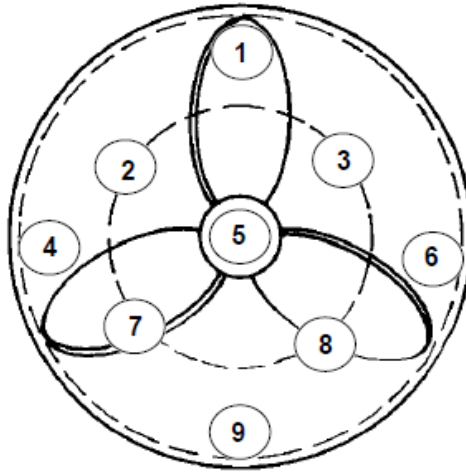
$$T_{po} = 6,983 + 14,38 \times \ln(P_v) + 1,0790 \times (\ln(P_v))^2 \text{ (Equação 14)}$$

Onde:

T_{po} = Temperatura de ponto de orvalho, °C.

3.5 Determinação da vazão dos exaustores

A metodologia de Wheeler & Bottcher (1995) foi utilizada na determinação da vazão dos exaustores em funcionamento para ser utilizada no desenvolvimento de um modelo baseado em redes neurais capaz de prever qual a vazão adequada a fim de manter as variáveis ambientais em níveis adequados para criação de frango de corte. Para isso, foi utilizado o anemômetro de fio quente (já mencionado anteriormente) para mensurar a velocidade do ar nos nove pontos apresentados na Figura 20, sendo que foi realizada a mensuração da velocidade do ar por um minuto em cada ponto (entre 1 e 9), obtendo-se a média em cada ponto, e posteriormente a média dos nove pontos. Realizada a mensuração da velocidade do ar, foi calculada a vazão por meio das Equações 15 e 16.



Fonte: Wheeler e Bottcher (1995)

Figura 20. Localização dos pontos para coleta da velocidade do ar para determinação da vazão.

$$\text{Área} = \pi \times \frac{D^2}{4} \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

Área = área da circunferência do exaustor, m².

D = diâmetro do exaustor, m.

$$\text{Vazão} = \overline{\text{Var}} \times \text{Área} \quad (\text{Equação 16})$$

Onde:

Vazão = vazão do exaustor, m³ s⁻¹.

$\overline{\text{Var}}$ = média da velocidade do ar nos 9 pontos, m s⁻¹.

4 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi dividida em cinco etapas, dentre as quais se destacam:

- análise estatística (descritiva, exploratória e confirmatória);
- geoestatística;
- mapeamento das condições ambientais e aéreas;
- posicionamento de sensores para controle do ambiente;
- dinâmica dos fluidos computacional e
- redes neurais.

4.1 Análise estatística

A análise descritiva foi realizada nos dados ambientais e aéreos por meio do *software* estatístico SAS[®]. Nesta fase, foi observada a distribuição dos dados por meio dos valores da média, mediana, coeficiente de variação, desvio padrão, coeficiente de assimetria, curtose, mínimo e máximo.

Com respeito à análise exploratória dos dados, a construção dos gráficos comparativos de *boxplot* foi obtido por meio do *software* estatístico MiniTab[®]. Os gráficos foram agrupados por idade das aves, de modo que as variáveis estudadas submetidas às comparações em diferentes condições: tipos de instalação, estações do ano e horário da coleta dos dados. Cada variável apresenta condições de conformidade segundo as especificações de bem-estar, conforto térmico e qualidade do ar, descritas pela literatura. Tais condições foram acrescentadas nos gráficos de *boxplot* para auxiliar na avaliação de conformidade.

E por fim, a estatística confirmatória foi utilizada com a proposta de averiguar a locação dos dados frente às especificações fornecidas pela literatura para melhor produtividade do frango de corte pelo Teste de Wilcoxon. Na análise confirmatória, também foram utilizados teste de hipótese: Teste de Tukey para comparação das médias (*software* estatístico Statgraphics XVI.II[®]), teste de normalidade dos dados por meio do Teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov, Teste de Wilcoxon que é um teste não paramétrico de comparação. Foi realizada a comparação entre as condições ambientais e aéreas registradas no campo *versus* as condições ideais proposta pela literatura. O teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov e o Teste de

Wilcoxon foram realizados no *software* estatístico MiniTab[®]. Como valores de referência, foram utilizados para a variável Tbs valores de 25 °C, 22 °C, 21 °C e 21 °C para aves com 21, 28, 35 e 42 dias de idade, respectivamente. Enquanto que o valor de referência para a UR foi de 60% para todas as idades, para a variável de velocidade do ar foi utilizado o valor de referência de 2 m s⁻¹ (baseado na média do valor de recomendação de YAHAV et al., 2001), e para as concentrações de CO₂ e NH₃ foram utilizados valores de referência de 3000 ppm e 10 ppm, respectivamente (COBB, 2008).

4.2 Geoestatística

Os dados obtidos em 52 pontos equidistantes de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, velocidade do ar, concentração de dióxido de carbono e concentração de amônia, foram analisados segundo a geoestatística. Para posterior análise do posicionamento dos sensores, foi calculado o Índice de Temperatura e Umidade para o período do verão e inverno às 14h00min e realizada a análise geoestatística.

A variabilidade das variáveis climáticas no interior dos aviários foi, primeiramente, avaliada pela análise exploratória dos dados, calculando-se a média, mediana, valor mínimo, valor máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e coeficiente de curtose. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (SAS, 1995).

O ajuste de um modelo matemático aos valores calculados, a partir da semivariância, é definido pelos coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (VIEIRA et al., 1983; TRANGMAR et al., 1985), como pode ser observada na Figura 21. Os atributos climáticos e os teores de gases foram coletados em uma malha regular com 52 pontos, distribuídos uniformemente ao longo do aviário.

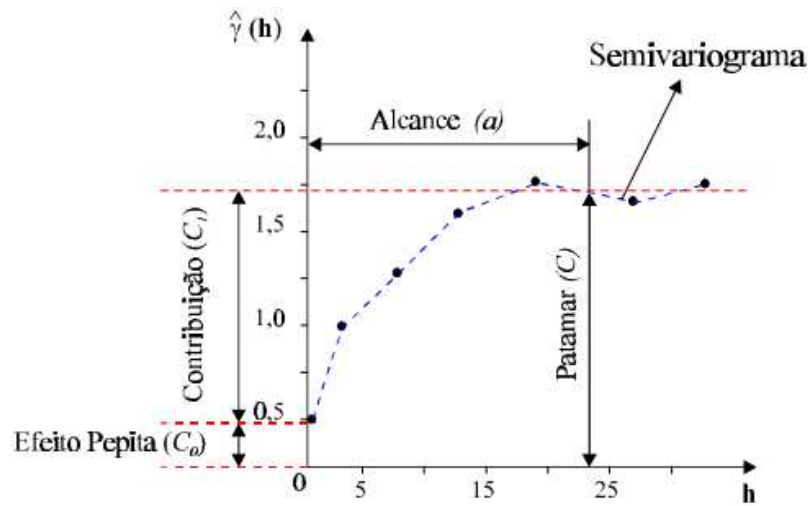


Figura 21. Detalhamento do semivariograma.

Foram ajustados aos dados para o modelo esférico apresentado na Equação 17, o modelo exponencial apresentado na Equação 18, modelo linear na Equação 19 e o modelo gaussiano na Equação 20, o qual é definido pelo ajuste do próprio *software* GS+:

- Modelo esférico, $\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1,5 * \left(\frac{h}{a} \right) - 0,5 * \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right]$ para $0 < h < a$ e $\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1$ para $h > a$

(Equação 17)

Onde:

$\gamma(h)$ = variograma.

C_0 = efeito pepita, m.

C_1 = contribuição, m.

h = distância, m.

a = alcance, m.

- Modelo exponencial, $\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \text{EXP} * \left[-3 \left(\frac{h}{a} \right) \right] \right\}$ para $0 < h < d$, onde d é a distância

máxima na qual o semivariograma é definido (Equação 18)

Onde:

$\gamma(h)$ = variograma.

C_0 = efeito pepita, m.

C_1 = contribuição, m.

h = distância, m.

a = alcance, m.

- Modelo Linear, $\hat{\gamma}(h) = C_0 + \frac{(C_1 * h)}{a}$ para $0 < h < a$, em que $C_1.a^{-1}$ é o coeficiente angular,

determinado pela equação da reta (Equação 19)

Onde:

$\gamma(h)$ = variograma.

C_0 = efeito pepita, m.

C_1 = contribuição, m.

h = distância, m.

a = alcance, m.

- Modelo Gaussiano, $\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp \left[-3 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right] \right\}$ para $0 < h < d$ (Equação 20)

Onde:

$\gamma(h)$ = variograma.

C_0 = efeito pepita, m.

C_1 = contribuição, m.

h = distância, m.

a = alcance, m.

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se o exame de semivariogramas, através do programa GS⁺ (ROBERTSON, 1998). Na elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis foi utilizado o programa SURFER (1999). Com o objetivo de facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, o efeito pepita foi expresso como percentagem do patamar (TRANGMAR et al., 1985).

4.3 Posicionamento de sensores

Realizada a análise geoestatística dos dados do Índice de Temperatura e Umidade, foi utilizado o *software* SANOSw95 para identificação da localização espacial dos pontos de amostragem mais representativos, no caso, total de três pontos para instalação de três pares de sensores de temperatura e umidade com o objetivo de entender melhor o ambiente no interior do aviário. Normalmente é utilizado um sensor para a variável temperatura e outro sensor para a variável umidade relativa nesta natureza de aviário. Nos mapas contendo o posicionamento de sensores se devem considerar apenas os três sensores centrais (representado pelo símbolo “+”) e desconsiderar os demais sensores posicionados nas arestas dos mapas.

Os dados do modelo em que o semivariograma foi ajustado, o patamar e o alcance foram inseridos no *software* SANOSw95 para identificação dos pontos otimizados.

4.4 Redes Neurais

As redes neurais foram utilizadas na proposta de um novo modelo de controle do sistema de ventilação dos galpões estudados, tendo como base o alcance da vazão ideal para os exaustores.

4.4.1 Construção do banco de dados

Foram construídos cinco bancos de dados para cada tipo de aviário, sendo um banco de dados para a construção e validação do modelo e os outros quatro bancos de dados para a identificação de novos valores de vazão dos exaustores. Os bancos de dados apresentavam as seguintes variáveis: Tbs_int – temperatura de bulbo seco no interior do aviário, UR_int – umidade relativa no interior do aviário, Tbs_ext – temperatura de bulbo seco no exterior do aviário, UR_ext – umidade relativa no exterior do aviário, Var_int – velocidade do ar no interior do aviário, CO₂_int – concentração de dióxido de carbono no interior do aviário, NH₃_int – concentração de amônia no interior do aviário, Erro_Tbs – diferença entre a temperatura interna no aviário e a temperatura ideal para cada fase da ave, Erro_UR – diferença entre a umidade interna no aviário e a umidade ideal para cada fase da ave, Erro_Var – diferença entre a velocidade do ar interna no aviário e a velocidade do ar ideal para a cada fase da ave, Erro_NH3 – diferença entre a concentração de amônia interna no aviário e a concentração de amônia ideal para cada fase da ave, Erro_CO₂ – diferença entre a concentração de dióxido de carbono interna

no aviário e a concentração de dióxido de carbono ideal para cada fase da ave e Vazão – somatória de todas as vazões dos exaustores acionados no momento da coleta de dados.

O modelo foi construído e validado, pelo teste *cross-validation* (10 *folds*), baseado no banco de dados com variáveis registradas no interior e exterior do aviário. Este modelo é a representação de um banco de dados em função dos aviários estudados. Já os quatro bancos de dados que foram utilizados para a proposta de uma nova vazão teve as variáveis de Tbs_int, UR_int, Tbs_ext, UR_ext, Var_int, CO₂_int, NH₃_int preenchidas com valores registrados no interior do aviário, enquanto que os valores dos erros foram preenchidos por zero, ou seja, a diferença entre o valor nominal ideal da variável estaria igual ao valor aferido no interior do aviário, e a variável Vazão foi substituída pelo ponto de interrogação “?”. Esta metodologia foi desenvolvida para que o modelo pudesse propor valores de vazão baseados nas condições internas e externas do aviário, baseado no universo de dados em que o modelo foi construído, de forma a melhorar os parâmetros ambientais e aéreos caso estes se encontrassem fora do intervalo considerado ideal pela literatura.

4.4.2 Construção do modelo

O método para obter novos valores da vazão foi implementado por meio do *software* Weka[®] 3.6.9 redes neurais de retropropagação muito utilizado para sistemas de predição conhecido como *feedforward-backpropagation*. Para a construção e validação do modelo, foi utilizado o teste *Cross-validation 10 folds*. A vazão recomendada pelo modelo foi obtida inserindo banco de dados com os valores dos erros iguais à zero e a vazão sem valor algum, pelo teste *Supplied Test Set*.

A rede apresenta topologia configurada em três camadas, sendo 15 neurônios na camada de entrada, oito neurônios na camada oculta e um neurônio na camada de saída. A Figura 22 apresenta a arquitetura da rede neural artificial utilizada neste trabalho.

As funções de ativação para cada camada (camada oculta e camada de saída) foram a tangente sigmoide e linear, respectivamente. O processo rodou em 500 épocas para obter a maior redução do erro por época, esta quantidade de épocas foi possível pela baixa complexibilidade do modelo.

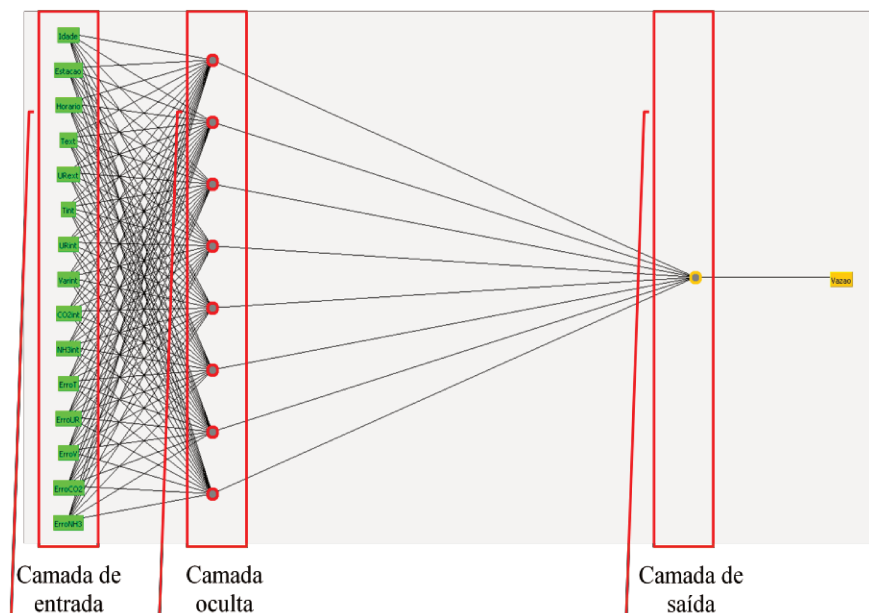


Figura 22. Arquitetura da rede neural para predição da vazão dos exaustores com aprendizado *Feedforward-backpropagation*.

A rede utilizada neste trabalho foi escolhida pela eficiência *Feedforward-backpropagation* ser satisfatória (WANG & ELHAG, 2007) e os modelos obtidos foram avaliados pelos parâmetros: coeficiente de correlação, erro médio absoluto, raiz quadrada do erro quadrático médio, erro relativo absoluto e raiz quadrada do erro quadrático relativo.

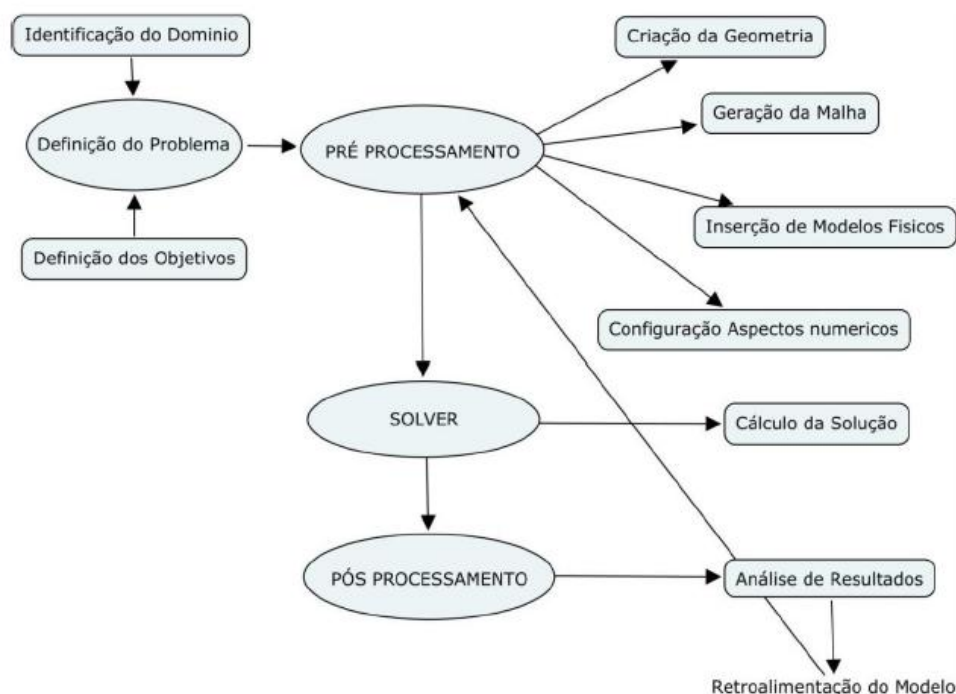
4.5 Dinâmica dos fluidos computacional

A simulação de CFD foi realizada para estudar o fluxo de ar no interior da instalação de frango de corte. A simulação CFD foi aplicada no aviário comercial *Solid Wall*, uma vez que apresentava melhor vedação que os demais aviários estudados em relação às frestas que auxilia a entrada de ar em regiões não previstas no projeto. Para isso foi utilizado o *software* Ansys® CFX 14.0.

Neste estudo, a simulação CFD foi composta por quatro etapas fundamentais:

- Definição do problema;
- Pré-processamento;
- *Solver* e
- Pós-processamento.

Essas etapas da metodologia CFD podem ser observadas na Figura 23, onde são apresentados os passos típicos da análise de CFD. Deve-se prestar muita atenção em cada uma delas, uma vez que quaisquer erros gerados são carregados consequentemente para a próxima etapa, influenciando os resultados obtidos ou até mesmo, causando divergência na solução do problema.



Fonte: Adaptado de ANSYS, Inc. 2007

Figura 23. Fluxograma do processo típico da análise de CFD.

4.5.1 Geometria

A geometria do modelo foi construída no Ansys® Workbench 14.0 com escala de 1:1 baseado no aviário real descrito no item 3 METODOLOGIA. Nesta etapa, foi desenhado todo o volume de ar no interior do aviário, desprezando o volume de ar no ático.

As entradas de ar (painel evaporativo – Figura 24) e saídas de ar (exaustores – Figura 25) foram desenhadas, criando um volume com 0,001 m de espessura. A Figura 26 apresenta a geometria do aviário em perspectiva, possibilitando a visualização dos exaustores frontais e laterais, bem como a visualização dos painéis evaporativos traseiros e laterais.

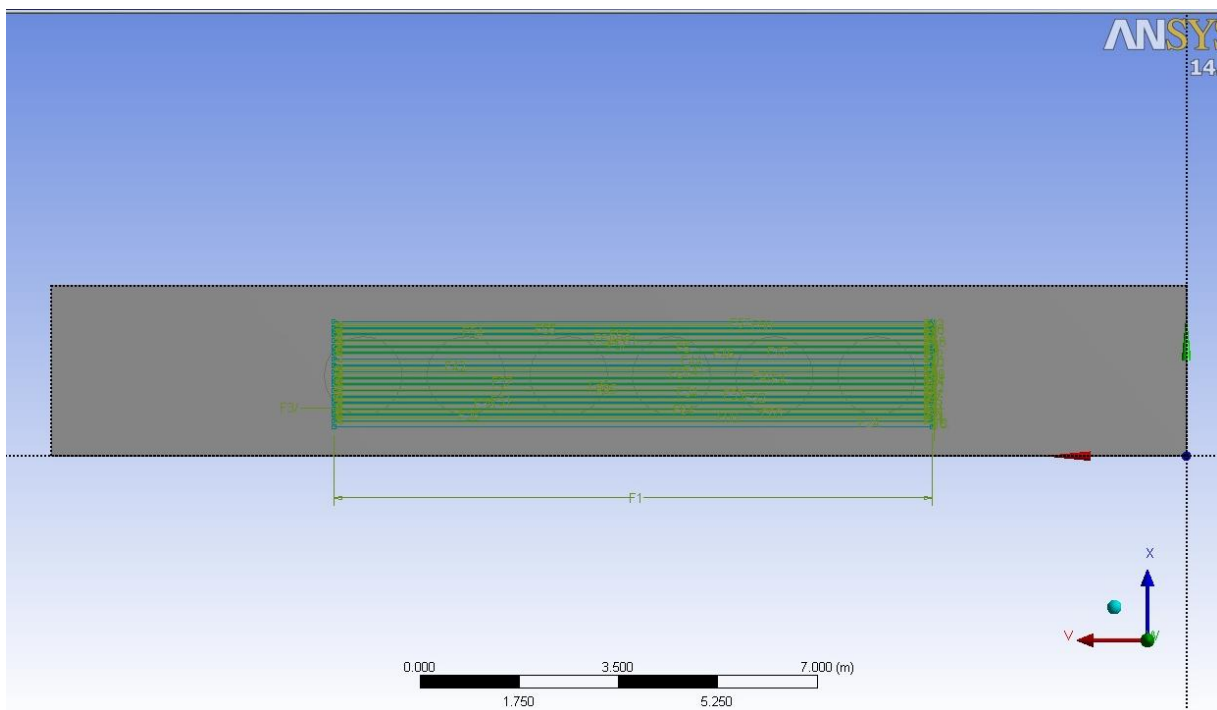


Figura 24. Geometria do painel evaporativo.

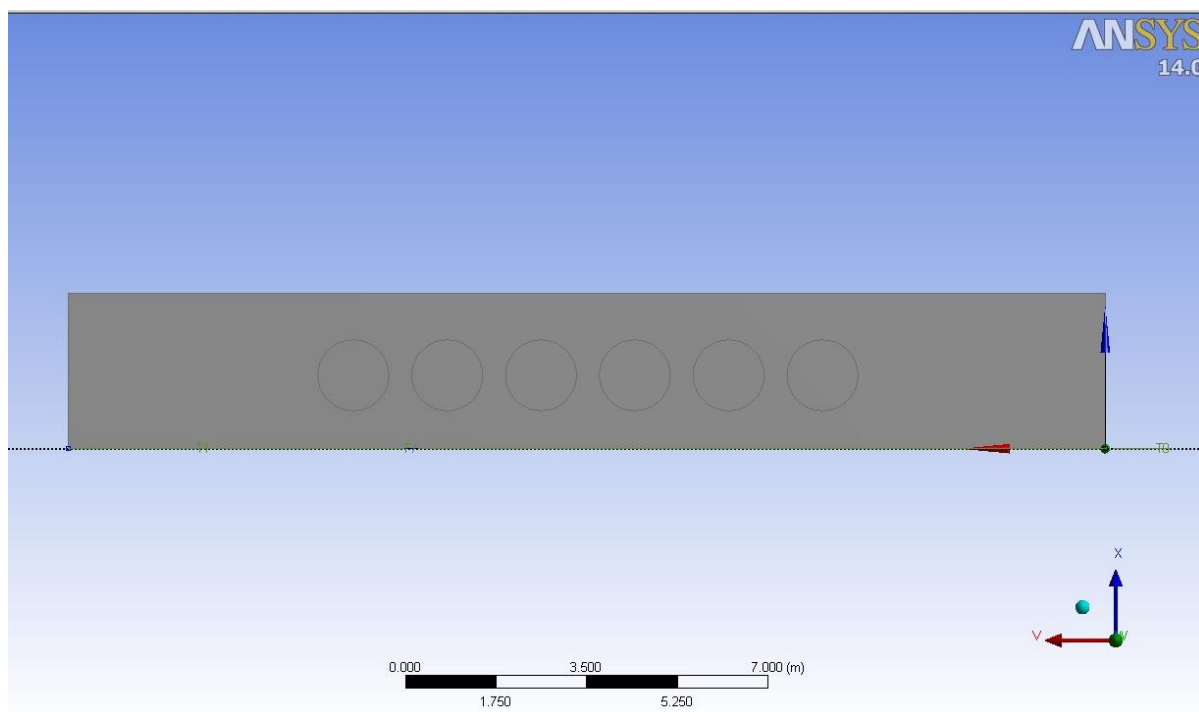


Figura 25. Geometria dos exaustores frontais.

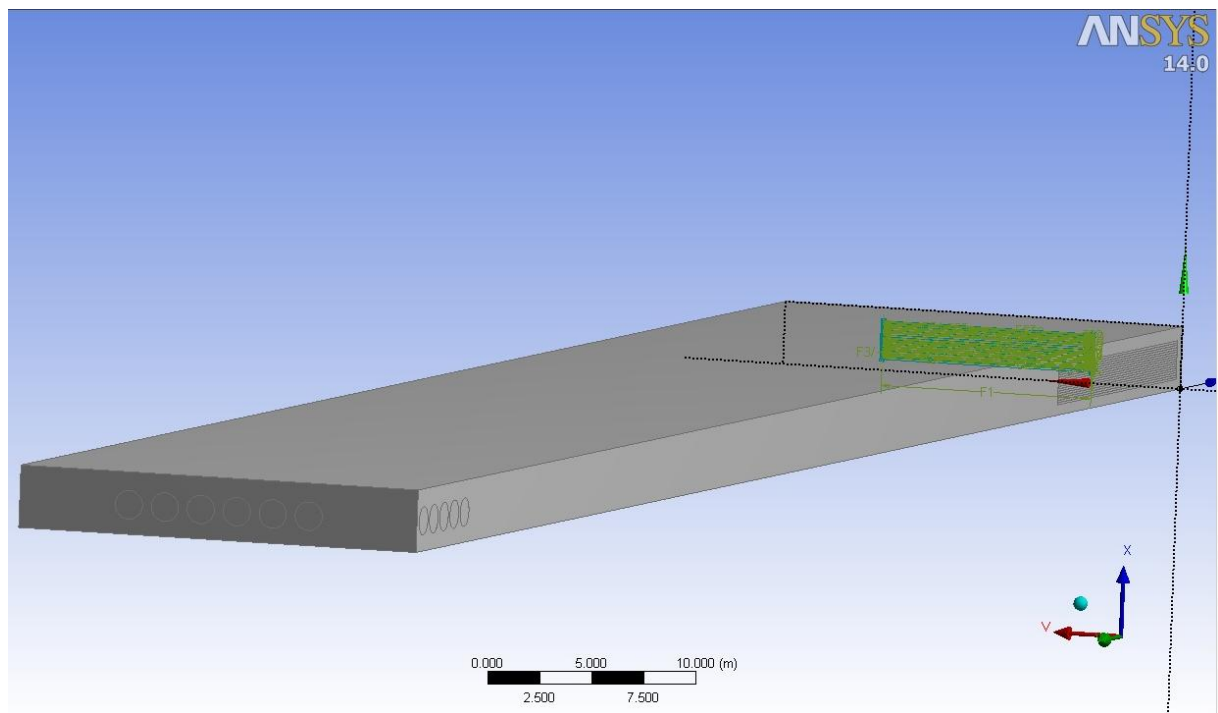


Figura 26. Imagem em perspectiva da geometria do aviário estudado.

As entradas de ar através do painel evaporativo foram seccionadas em retângulos de 0,10 m pelo comprimento do painel com espaçamento de 0,001 m entre eles (comprimento de 10,55 m e 18,60m no painel evaporativo traseiro e lateral, respectivamente) a fim de auxiliar na introdução das condições de contorno, uma vez que o manejo da abertura da entrada de ar era alterada de 0,10 m em 0,10 m pelo sistema de controle da ventilação. A Figura 27 apresenta o detalhe da entrada do ar nas aberturas seccionadas.

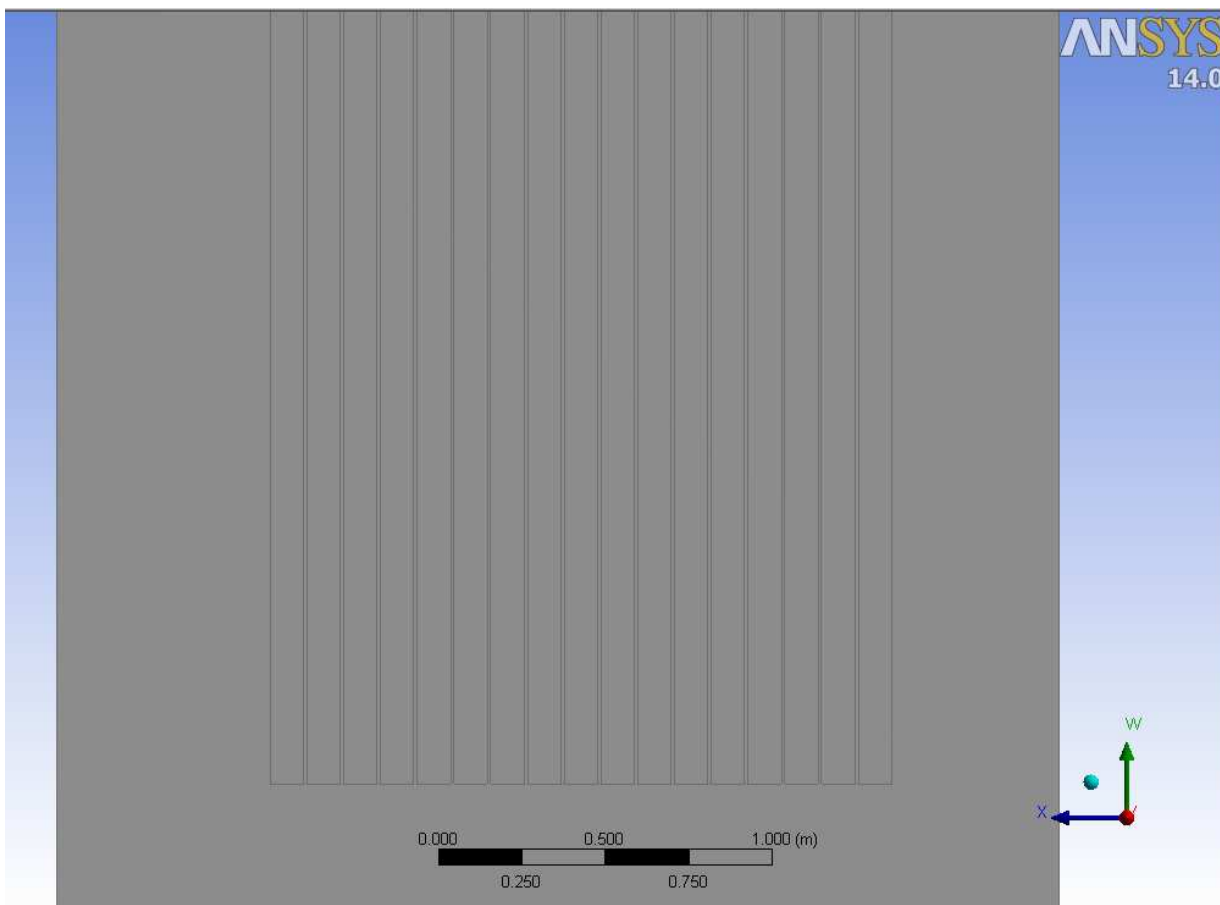


Figura 27. Divisão do painel evaporativo em retângulos com 0,10 m de altura.

Deve-se considerar que objetivo final da geometria é esboçar a região do fluido que está envolvida no domínio do problema. Segundo Saraz (2010), a estrutura do aviário não interfere na simulação, desta forma foram desprezados os pilares com estrutura metálica.

4.5.2 Malha

O volume de ar contido na instalação de frango de corte foi dividido em uma malha composta de pequenos volumes, para os quais foram realizados os cálculos de conservação de massa e momento. De forma geral, quanto mais fina a malha, mais precisos são os resultados e maior o tempo e capacidade de processamento necessário para realizar a simulação (CÓSTOLA & ALUCCI, 2011).

As malhas foram construídas utilizando diferentes tamanhos, sendo que o menor tamanho foi igual à espessura da entrada e saídas de ar, ou seja, 0,001 m e o tamanho maior de 0,230 m. O tipo de malha escolhido foi malha-estruturada hexaédrica. Segundo Joaquim Junior et al. (2007), as malhas tetraédricas não possuem a mesma aceitação que a malha hexaédrica, isso se deve ao fato da malha tetraédrica requerer uma quantidade de elementos maior para proporcionar o mesmo número de nós que a malha hexaédrica proporciona, assim o aumento do esforço computacional é esperado. Além disso, a malha tetraédrica não proporciona uma boa representação da solução nas camadas adjacentes às paredes. Desta forma, as Figuras 28, 29 e 30 apresentam a malha-estruturada hexaédrica nos exaustores, entradas de ar (painel evaporativo) e uma aproximação no corpo do aviário, respectivamente.

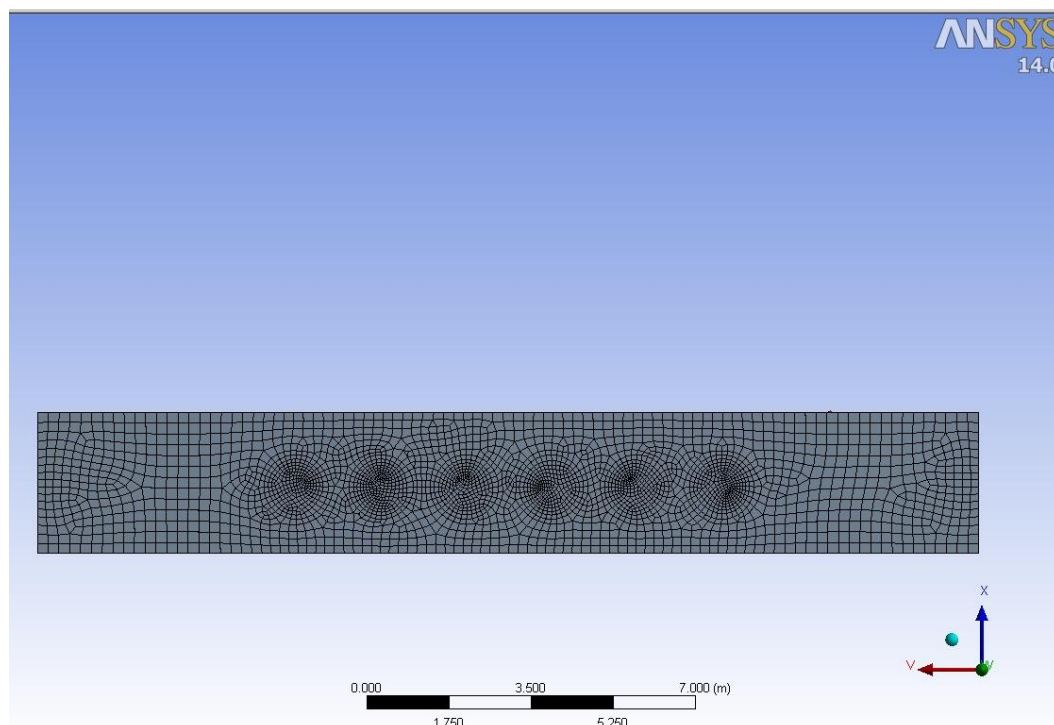


Figura 28. Malha-estruturada hexaédrica nos exaustores do aviário.

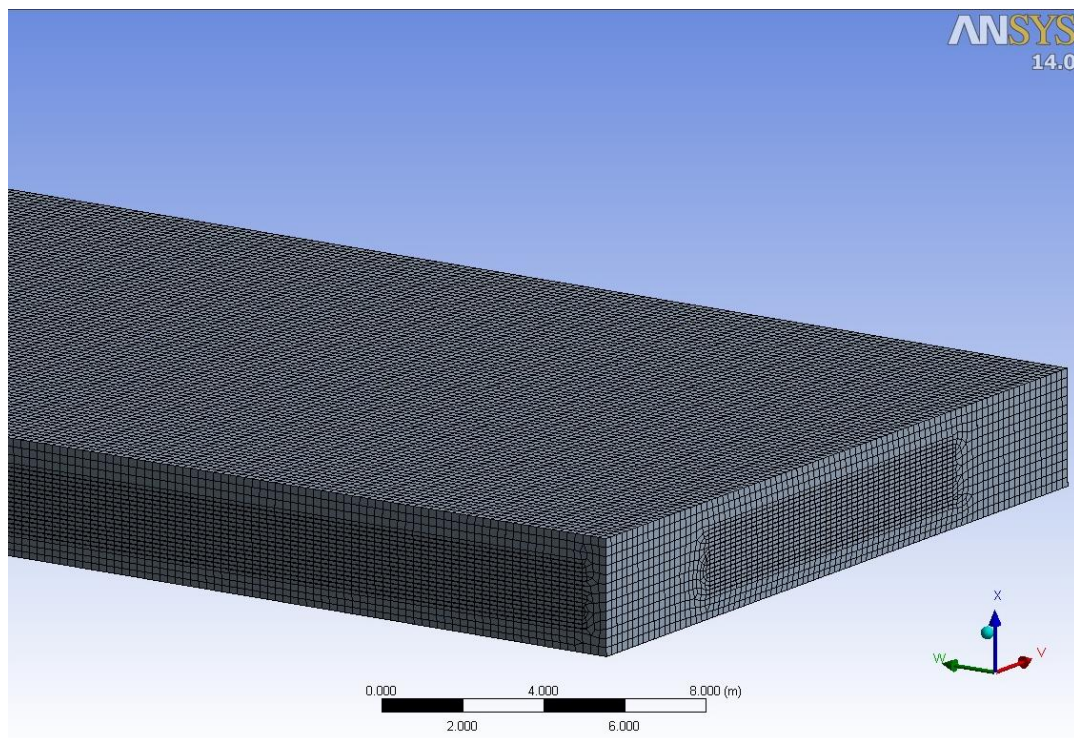


Figura 29. Malha-estruturada hexaédrica nas entradas de ar através do painel evaporativo do aviário.

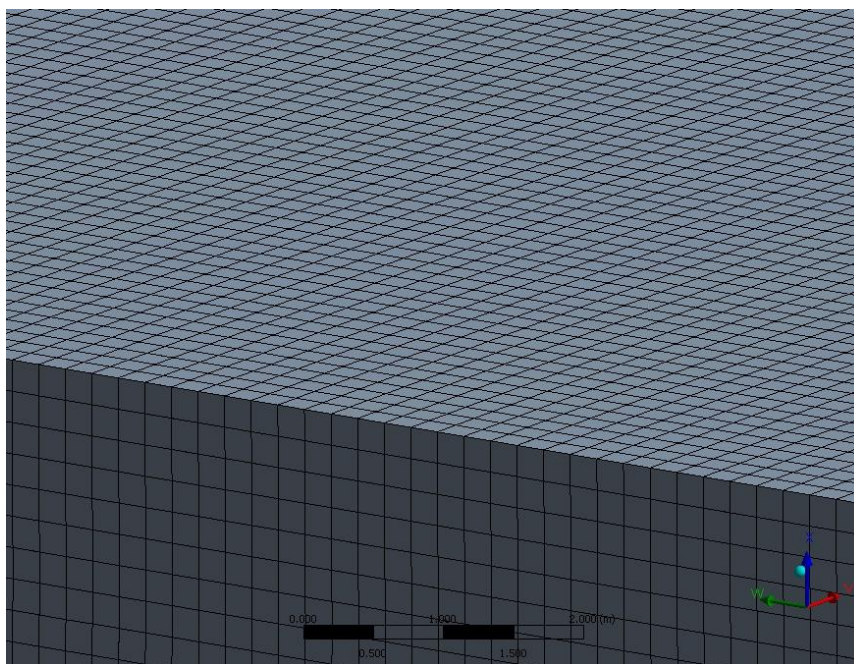


Figura 30. Imagem aproximada da malha-estruturada hexaédrica utilizada no aviário *Solid Wall*.

A avaliação das malhas foi realizada pelos seguintes parâmetros:

- número de elementos;
- número de nós;
- relação de aspecto (*aspect ratio*);
- qualidade do elemento (*element quality*) e
- assimetria (*skewness*) – para uma boa qualidade de malha, este valor não deve ultrapassar 0,8 (GAMBIT, 2001).

Neste processo é traduzida a informação geométrica do modelo em pontos nodais discretos, num processo conhecido como discretização. A simulação de CFD deve buscar independência do resultado obtido em relação à densidade da malha adotada. A fim de garantir essa independência, deve-se proceder sempre um teste de refinamento de malha (também conhecida como teste de independência de malha) e comparação dos resultados: a malha escolhida deve ser tal que seu refinamento não cause alteração significativa do resultado encontrado (COST, 2004). Visto que a distribuição de refino da malha ao longo do domínio do problema tem influência direta nos resultados obtidos é importante realizar um teste de independência de malha para certificar que a malha não interfere nos resultados da simulação. Porém, o grande problema relacionado ao refino de malhas está sempre ligado ao aumento do custo computacional o qual é um fator que deve ser considerado com cuidado. O principal sintoma apresentado por uma malha “grossa”, ou seja, não refinada o suficiente para garantir a independência, é a falta de convergência na simulação. Assim, as malhas testadas foram: o padrão do programa (default), com 0,40 m, 0,30 m, 0,25 m, 0,23 m e 0,20 m, com taxa de crescimento igual a 1,10.

O uso adequado da técnica de CFD envolve a definição das condições de contorno de forma que o modelo seja o mais próximo possível da realidade. Entretanto, a determinação e quantificação das condições de contorno em instalações de frangos de corte por ser dificultoso na prática. Por esta razão, foram observados autores que estudaram o sistema de ventilação em instalações comerciais de frango de corte e optou-se pelo uso da velocidade do ar nas entradas de ar e pela pressão estática nos exaustores (BJERG et al., 2002; VAN WAGENBERG et al., 2004; BLANES-VIDAL et al., 2008). Foi considerado que as paredes de isolamento do aviário eram isotérmicas (com temperatura constante).

O modelo foi construído utilizando as seguintes condições de contorno:

- velocidade do ar de entrada;
- temperatura do ar de entrada;
- velocidade do ar de saída;
- temperatura do ar de saída;
- densidade e viscosidade do fluido, sendo no caso o ar atmosférico e
- pressão estática do ar de saída.

No presente trabalho, utilizou-se o modelo de fechamento de primeira ordem *standard* k- ϵ (CFX, 2013), no qual os efeitos da turbulência no escoamento médio são descritos por meio de duas equações:

- uma para a energia cinética turbulenta (k) e
- outra à taxa de dissipação da turbulência (ϵ).

A opção por este modelo foi baseada em três fatores. O modelo de turbulência é amplamente utilizado por estudos anteriores sobre a modelagem do fluxo do ar em função do sistema de ventilação nas instalações avícolas (BLANES-VIDAL et al., 2008; ZHAO et al., 2013). Simulações de CFD utilizando modelos de fechamento de primeira ordem (como o *standard* k- ϵ) foram validadas com sucesso para diversas aplicações no estudo do ambiente interno das instalações (LEE et al., 2007; PAWAR et al., 2007; NORTON et al., 2007; MOSTAFA et al., 2012; BUSTAMANTE et al., 2013), ou seja, modelos isotrópicos podem, em certas circunstâncias, fornecer resultados válidos. Devido a relação entre a qualidade dos resultados e pequena capacidade de processamento necessária.

Cabe salientar que, entre os modelos de fechamento de primeira ordem, o *standard* k- ϵ tem sido considerado com o menor rendimento, e por consequência, crescente o uso de outros modelos, tais como, RNG k- ϵ , k- ϵ *realizable* ou mesmo SST k- ω .

As seguintes considerações foram assumidas: (a) regime estacionário; (b) escoamento incompressível; e (c) escoamento turbulento. Como critério de convergência, foi adotado o resíduo máximo (RMS) da solução menor do que 10^{-4} como critério de convergência, com no mínimo 50 e no máximo 300 iterações. A escolha do domínio e da malha é importante por interferir fortemente nos resultados.

4.5.3 Validação

A validação do modelo foi realizada baseando-se nos resultados obtidos pela modelagem CFD os quais foram verificados e comparados com os correspondentes dados obtidos experimentalmente em campo. A concordância entre os valores medidos e descritos pelo modelo CFD foram avaliados calculando a média dos quadrados dos erros normalizados (NMSE) (ANDERSON et al., 1992), descrito na Equação 21. Os valores de NMSE menores de 0,25 são aceitos como bons indicadores de concordância.

$$NMSE = \frac{\left(\frac{\sum_i (var_{pi} - var_{mi})^2}{n} \right)}{(\overline{var_{pi}} \times \overline{var_{mi}})} \text{ (Equação 21)}$$

Onde:

var_{pi} = Velocidade do ar predita, $m s^{-1}$.

var_{mi} = Velocidade do ar medida, $m s^{-1}$.

$\overline{var_{pi}}$ = Média da velocidade do ar predita, $m s^{-1}$.

$\overline{var_{mi}}$ = Média da velocidade do ar medida, $m s^{-1}$.

n = número de medidas, adm.

Apenas para a validação do modelo, foram registrados dados de velocidade do ar no interior do aviário em 27 pontos equidistantes na altura de 0,30 m do piso (altura das aves – Figura 31), sendo que em cada ponto houve a monitoração da variável por 6 minutos, baseado na metodologia utilizada Blanes-Vidal et al. (2008). O registro destes dados foi realizado em cinco dias consecutivos apenas para validação do modelo em CFD, quando as aves apresentavam 28 dias de idade.

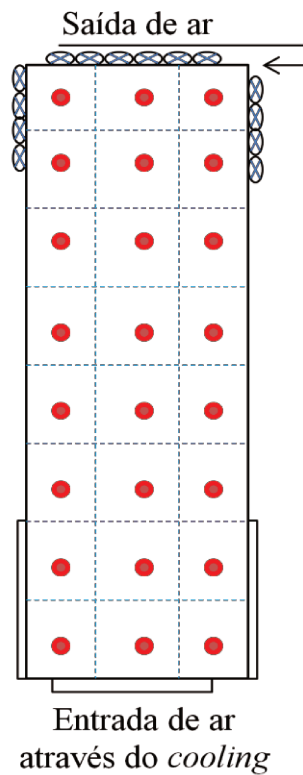


Figura 31. Pontos de registro para validação do modelo de CFD.

4.5.4 Simulação

A simulação foi realizada utilizando diferentes arranjos de exaustores acionados ao mesmo tempo a fim de obter a melhor combinação para realizar as trocas de ar de maneira mais efetiva. A Figura 31 apresenta as simulações realizadas baseado no modelo validado.

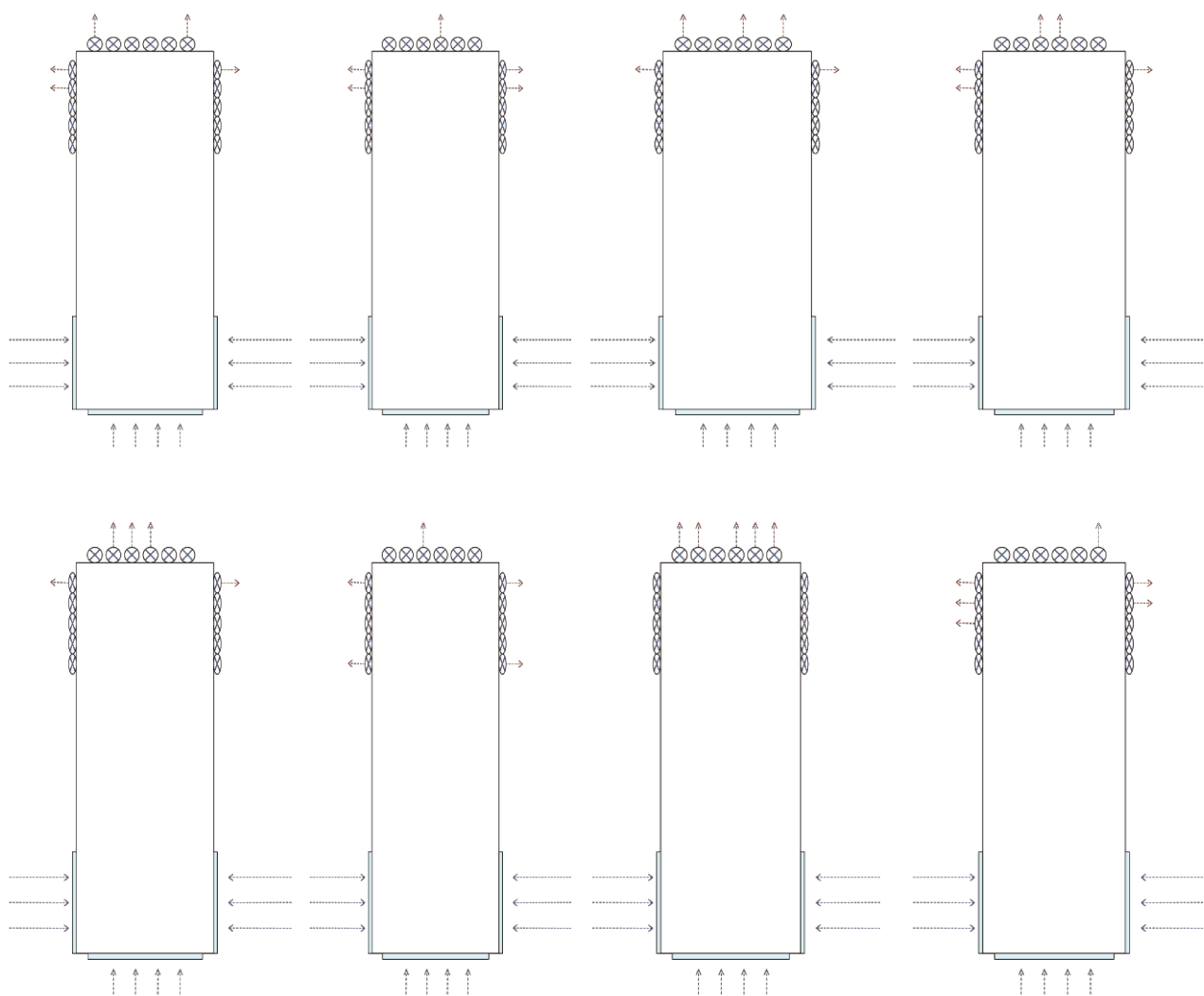


Figura 32. Simulações utilizadas para determinação do melhor arranjo de funcionamento de cinco exaustores, sendo o funcionamento original dos exaustores (a), Simulação 1 (b), Simulação 2 (c), Simulação 3 (d), Simulação 4 (e), Simulação 5 (f), Simulação 6 (g) e Simulação 7 (h).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análises estatísticas

Os resultados pertencentes à análise estatística foram divididos em descritiva, exploratória e confirmatória de acordo com a idade do lote de frangos de corte.

5.1.1 Dados correspondentes aos 21 dias de idade das aves

A temperatura de bulbo seco (Tbs, °C) se apresentou dentro do intervalo considerado adequado por Baêta & Souza (1997) e Tinôco (2004), ou seja, entre 15 e 26 °C nos aviários avaliados. Os galpões DH (*Dark House*) e DWH (*Double Wide House*) apresentam Tbs aquém do recomendado por Cobb (2008) e Medeiros et al (2005), sendo que Nicholson et al. (2004) preconiza que, para esta fase, a Tbs deveria estar em torno de 22°C (Tabela 3).

A umidade relativa (UR, %) esteve dentro do intervalo considerado ideal para os aviários BH (*Blue House*), DWH e SW (*Solid Wall*) (TINÔCO, 2004; COBB, 2008), enquanto que o aviário DH apresentou níveis de entre 82,33 % e 94,00 %, o que dificulta a perda de calor latente das aves, gerado por um ambiente com alta densidade de aves por metro quadrado no período do inverno.

A velocidade do ar (Var, m s⁻¹) se apresentou abaixo de 0,50 m s⁻¹, o que remete sistema de ventilação em funcionamento aquém do desejável com necessidade de intensificação, o que se confirma pela concentração de NH₃ acima de 10 ppm para os aviários estudados. É possível afirmar que não houve dificuldade na manutenção na temperatura interna, entretanto deveria ser intensificado para proporcionar renovação de ar às aves, reduzindo a concentração de NH₃ à níveis ideais, ou seja, abaixo de 10 ppm (COBB, 2008) e todos abaixo de 20 ppm (GLOBALGAP, 2012), enquanto que para o CO₂, todos aviário se encontraram abaixo de 3000 ppm (COBB, 2008). O Brasil não possui limites legais de exposição das aves à amônia, entretanto exportadores de carne de frango adotam o limite máximo de 20 ppm, enquanto que as concentrações de amônia em sistemas de produção intensivo fechado podem apresentar valores de até 50 ppm na última semana de produção (JONES et al., 2005; OWADA et al., 2007)

A média e a mediana apresentaram-se próximos, arremetendo distribuição simétrica dos dados. De acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov as variáveis que apresentaram

distribuição normal foram a Tbs para os aviários DWH e SW, a UR e concentração de CO₂ para o aviário DWH, a Var no DH e concentração de NH₃ para DH e SW.

Outro critério de avaliação é o coeficiente de variação (CV) o qual foi classificado de acordo com Warrick & Nielsen (1980), sendo considerada baixa variabilidade quando o CV apresentar valor abaixo de 12%, variabilidade média com valores entre 12 e 24% e, variabilidade alta com valores maiores que 24%. Em relação ao CV, obteve-se baixa variabilidade para Tbs e UR em todos os galpões, enquanto que os demais apresentaram alta variabilidade com exceção do CO₂ no BH e NH₃ no SW com variabilidade moderada. A distribuição dos dados apresentou não normalidade para a variável de Tbs nos aviários DWH e SW, para a UR e CO₂ no aviário DWH, Var para os aviários DH e a concentração de NH₃ para os galpões DH e SW.

A avaliação da homogeneidade dos parâmetros climáticos é essencial para assegurar a qualidade do manejo do ambiente térmico e aéreo a fim de minimizar a ocorrência de regiões quentes e com pouca renovação de ar (pontos mortos), melhorando a qualidade e produção do lote (Bournet & Boulard, 2010).

Tabela 3. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	24,18	24,19	23,40	26,95	0,68	2,81	1,76	5,15	0,01
	DH	22,75	23,65	17,36	24,98	2,17	9,53	-1,21	0,50	0,01
	DWH	18,71	18,59	15,52	20,83	1,26	6,75	-0,16	-0,42	0,15 ^{ns}
	SW	24,79	24,77	23,65	25,48	0,45	1,82	-0,35	-0,29	0,15 ^{ns}
UR	BH	65,31	66,51	54,60	69,60	4,01	6,13	-1,00	-0,08	0,01
	DH	82,33	84,88	64,30	94,00	8,29	10,07	-0,65	-0,74	0,01
	DWH	65,21	64,75	54,50	77,20	6,47	9,93	0,14	-0,72	0,15 ^{ns}
	SW	67,31	68,00	59,30	72,70	3,36	4,99	-0,82	0,02	0,01
Var	BH	0,18	0,17	0,04	0,55	0,08	47,17	2,16	8,01	0,01
	DH	0,33	0,32	0,10	0,76	0,15	45,84	0,77	0,64	0,15 ^{ns}
	DWH	0,28	0,26	0,13	0,45	0,10	35,31	0,35	-1,16	0,03
	SW	0,36	0,30	0,12	0,76	0,17	47,90	0,78	-0,55	0,01
CO ₂	BH	546,20	550,00	300,00	750,00	124,90	22,87	-0,03	-1,17	0,01
	DH	930,30	1087,50	0,00	1750,00	507,00	54,50	-0,28	-1,43	0,01
	DWH	701,40	768,80	0,00	1400,00	362,90	51,73	0,14	-0,62	0,14 ^{ns}
	SW	287,00	287,50	0,00	650,00	186,00	64,82	0,08	-1,02	0,02
NH ₃	BH	11,60	13,00	2,00	18,00	4,56	39,31	-0,26	-1,23	0,01
	DH	8,78	9,00	1,00	15,00	3,77	42,93	-0,28	-0,80	0,15 ^{ns}
	DWH	10,60	11,50	2,00	16,00	4,06	38,25	-0,45	-1,10	0,01
	SW	12,17	12,50	7,00	16,00	2,69	22,09	-0,13	-1,20	0,15 ^{ns}

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 4 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 21 dias de idade das aves. É possível observar que as condições externas de temperatura, inferior a 18,05 °C auxiliaram positivamente na qualidade do ambiente interno.

Tabela 4. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 21 dias de idade das aves no período do inverno às 9h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	18,05	90,50
DH	15,50	90,00
DWH	12,90	86,00
SW	18,05	90,50

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

Avaliando-se os valores médios das variáveis ambientais e aéreas para aves aos 21 dias de idade no período do inverno às 14h00min (Tabela 5), é possível observar que a Tbs apresentava níveis dentro da faixa considerada ideal para os aviários DH, DWH e SW aos 21 dias de idade, enquanto para o aviário BH, a média da Tbs estava acima da referência, sendo o valor de referência entre 24 e 26°C para Cobb (2008), entre 15 e 26°C para Baêta & Souza (1997) e Tinôco (2004), 26°C para Medeiros et al. (2005).

Em relação à UR, os aviários DH, DWH e SW se mantiveram no intervalo considerado ideal, ou seja, entre 50 e 70% segundo Cobb (2008), Baêta & Souza (1997) e Tinôco (2004), enquanto que o aviário BH apresenta valor médio abaixo de 50%, o que auxilia a maior produção de poeira e presença de microorganismos no ar influenciando na saúde do lote em relação à doenças respiratórias. Entretanto a capacidade das aves em suportar calor é inversamente proporcional ao teor de umidade relativa do ar (OLIVEIRA et al., 2006).

A velocidade do ar se apresentou, em todos os aviários, aquém dos valores mínimos de referência, ou seja, 1,5 m s⁻¹ segundo Medeiros et al. (2005), Yahav et al. (2001) e Cobb (2008), o que prejudica no bom desempenho produtivo do lote.

As concentrações de CO₂ apresentaram abaixo do limite máximo recomendado pela literatura, 5000ppm (GLOBALGAP, 2012) e 3000ppm (COBB, 2008), o que demonstra que o sistema de ventilação está em funcionamento adequado para atender a qualidade do ar, embora com velocidade do ar baixa na altura das aves. Da mesma forma, a concentração de NH₃ também se apresentou abaixo como recomendado pelo Globalgap (2012), sendo que a média extrapolou 4,30 ppm em relação à indicação da Cobb (2008) que preconiza concentração máxima de 10ppm,

o qual pode irritar o trato respiratório das aves de forma grave (CCOHS – *Canadian Center for Occupational Health and Security*, 1998).

De acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov as variáveis Tbs e CO₂ para os aviários BH e SW, UR para os galpões DH e SW e NH₃ para os galpões BH e DWH não apresentaram normalidade (Tabela 5). Porém, essas variáveis apresentaram valores próximos de média e mediana, o que permite assumir que as distribuições são suficientemente simétricas. Segundo Little e Hills (1978), quando os valores da média e mediana estão próximos, os dados apresentam ou se aproximam na distribuição normal. Indicando que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição (CAMBARDELLA et al., 1994). Neste contexto, a maioria das variáveis apresentou-se com valores da média e mediana próximos.

Utilizando o critério de avaliação da variabilidade dos dados pelo coeficiente de variação, é possível observar que a Tbs e a UR apresentam baixa variabilidade dos dados. Segundo Vanni (1998), quando o CV supera 35% indica série heterogênea e consequentemente a média tem pouco significado, o que ocorreu em relação à Var nos aviários BH e DWH e para as concentrações de gases em todos os galpões.

Tabela 5. Resultado da análise estatística descritiva das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	27,88	28,12	27,08	28,60	0,48	1,70	-0,47	-1,38	0,01
	DH	23,03	23,33	19,24	27,40	2,06	8,94	-0,10	-0,79	0,15 ^{ns}
	DWH	24,38	24,82	20,11	27,18	2,04	8,37	-0,41	-0,75	0,15 ^{ns}
	SW	25,08	24,97	24,55	25,90	0,40	1,59	0,86	-0,36	0,01
UR	BH	41,51	42,30	33,40	48,00	4,47	10,77	-0,33	-1,09	0,05 ^{ns}
	DH	69,41	71,13	58,00	77,00	5,73	8,25	-0,62	-0,92	0,01
	DWH	68,92	69,69	55,80	80,30	5,13	7,45	-0,05	-0,06	0,15 ^{ns}
	SW	66,60	65,24	60,40	77,50	4,91	7,37	0,89	-0,33	0,01
Var	BH	0,34	0,35	0,11	0,67	0,14	40,70	0,36	-0,57	0,15 ^{ns}
	DH	0,34	0,34	0,13	0,48	0,08	24,52	-0,37	-0,29	0,15 ^{ns}
	DWH	0,25	0,24	0,02	0,75	0,17	66,11	0,97	0,99	0,15 ^{ns}
	SW	0,98	0,91	0,42	2,14	0,33	33,17	1,15	2,15	0,09 ^{ns}
CO ₂	BH	15,14	0,00	0,00	150,00	38,77	256,02	2,54	5,43	0,01
	DH	418,30	400,00	0,00	800,00	230,10	55,02	-0,08	-0,98	0,09 ^{ns}
	DWH	1368,50	1250,00	300,00	2500,00	552,80	40,39	0,11	-0,44	0,15 ^{ns}
	SW	15,14	0,00	0,00	150,00	43,47	287,02	2,68	5,64	0,01
NH ₃	BH	4,52	4,00	0,00	8,00	1,96	43,28	-0,25	-0,25	0,01
	DH	5,18	5,50	0,00	10,00	2,64	51,03	-0,27	-0,56	0,15 ^{ns}
	DWH	14,30	16,75	3,00	21,00	5,88	41,11	-0,52	-1,20	0,01
	SW	4,23	4,00	1,00	7,00	1,69	40,04	0,09	-1,21	0,05 ^{ns}

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 6 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 21 dias de idade das aves. É possível observar que as condições externas de temperatura, superior a 25,00 °C para os aviários BH, DH e SW auxiliaram no ganho de calor para o interior do aviário, principalmente para o BH. Enquanto que o aviário DWH foi influenciado positivamente na qualidade do ambiente interno.

Tabela 6. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 21 dias de idade das aves no período do inverno às 14h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	25,15	53,50
DH	25,30	43,00
DWH	21,10	44,00
SW	25,15	33,50

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 7 apresenta os valores da estatística descritiva para as variáveis coletadas no interior dos galpões aos 21 dias de idade das aves, no período do verão às 9h00min. A média da Tbs esteve no intervalo considerado ideal para todos os aviários, ou seja, entre 24 e 26 °C recomendado pela Cobb (2008), Baêta & Souza (1997) e Tinôco (2004). A Tbs com valor de $25,10 \pm 2,99$ °C caracteriza ambiente de conforto térmico para as aves na fase final em pesquisa realizada por Oliveira et al. (2006). Da mesma forma em que a UR também esteve em relação à literatura que preconiza intervalo entre 50 e 70%, com exceção do aviário DWH o qual o sistema de ventilação não foi capaz de retirar o excesso de umidade em detrimento da maior largura.

A Var apresentou-se abaixo de $1,50 \text{ m s}^{-1}$ para todos os aviários, dificultado a perda de calor por convecção das aves entretanto, como a temperatura estava adequada, não havia necessidade de perda de calor maior. No caso do aviário BH, a média da velocidade do ar foi igual a $0,39 \text{ m s}^{-1}$, muito aquém do desejável para aves de 21 dias de idade, indicando necessidade de intensificação do sistema de ventilação. Quanto às concentrações de CO_2 e NH_3 , todos os aviários apresentaram-se abaixo do limite máximo preconizado pelo Cobb (2008) e Globalgap (2012).

A variabilidade dos dados se apresentou baixa para a variável de temperatura em todos os galpões da mesma forma que para UR, com exceção do galpão BH que apresentou variabilidade moderada. Em relação às variáveis de Var, CO_2 e NH_3 , houve alta variabilidade dos dados para todos os galpões estudados. Mesmo que os valores de CV apresentem valores de alta e moderada variabilidade, este não é um bom indicador da variabilidade espacial, pois podem ocorrer áreas com valores extremamente altos e baixos (WARRICK & NIELSEN, 1980).

A partir do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, é possível constatar normalidade dos dados para a variável Tbs nos aviários BH e DH, para a UR no BH, para a Var nos aviários BH, DH e SW. E em relação ao coeficiente de variação pela classificação de Warrick & Nielsen (1980) os dados de Tbs e UR apresentaram baixa variabilidade, enquanto que os demais apresentaram alta variabilidade. Sendo que os valores maiores que 35% ocorreram para a Var no BH, para a concentração de CO₂ para todos os aviários e NH₃ para DH e DWH.

Tabela 7. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	25,25	25,27	24,82	26,10	0,32	1,25	0,65	0,10	0,15 ^{ns}
	DH	25,40	25,37	23,26	27,33	1,06	4,18	-0,08	-0,86	0,15 ^{ns}
	DWH	25,56	25,68	24,90	26,14	0,38	1,49	-0,47	-0,96	0,01
	SW	25,96	26,16	24,15	27,10	0,91	3,51	-0,78	-0,58	0,01
UR	BH	59,22	59,18	56,40	62,50	1,59	2,68	0,26	-0,57	0,15 ^{ns}
	DH	62,91	63,46	30,10	75,40	6,73	10,69	-2,26	10,76	0,01
	DWH	77,34	76,29	71,40	83,40	3,30	4,27	0,35	-1,10	0,01
	SW	70,60	70,36	65,90	77,60	3,69	5,22	0,39	-1,15	0,02
Var	BH	0,39	0,36	0,09	0,79	0,18	46,66	0,42	-0,71	0,15 ^{ns}
	DH	0,71	0,69	0,33	1,24	0,18	25,89	0,40	0,39	0,15 ^{ns}
	DWH	0,71	0,75	0,13	1,15	0,24	33,62	-0,66	-0,05	0,02
	SW	0,62	0,64	0,17	0,97	0,17	28,04	-0,34	0,10	0,15 ^{ns}
CO ₂	BH	35,34	0,00	0,00	150,00	56,27	159,24	1,22	-0,14	0,01
	DH	120,40	106,30	0,00	650,00	150,90	125,33	1,71	3,10	0,01
	DWH	135,60	93,80	0,00	400,00	145,20	107,11	0,57	-1,19	0,01
	SW	36,78	0,00	0,00	150,00	60,55	164,64	1,17	-0,48	0,01
NH ₃	BH	3,49	3,38	2,00	6,00	0,95	27,34	0,93	0,98	0,01
	DH	1,23	1,00	0,00	3,00	1,09	89,14	0,30	-1,35	0,01
	DWH	3,70	4,00	2,00	6,00	1,37	36,94	0,11	-1,29	0,01
	SW	3,83	4,00	2,00	6,00	1,01	26,47	0,06	-0,73	0,01

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = Blue House; DH = Dark House; DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

A Tabela 8 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 21 dias de idade das aves. É possível observar que as condições externas de temperatura, inferior a 25,00 °C para os aviários avaliados auxiliaram na manutenção do ambiente interno. O maior teor de umidade relativa externa observada no aviário BH não influenciou nas condições internas.

Tabela 8. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 21 dias de idade das aves no período do verão às 9h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	23,85	90,00
DH	21,80	69,00
DWH	24,90	65,00
SW	22,70	73,00

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 9 apresenta os dados coletados no momento crítico, ou seja, às 14h00min no período do verão. A variável de Tbs apresentou-se acima dos valores de referência preconizados pela literatura em todos os aviários, sendo o aviário DH o que mais se aproximou do ideal com temperatura média de 26,96°C e o aviário DWH o que apresentou média igual à 32,36°C, denotando problema no sistema de resfriamento o que não foi suficiente para melhorar as condições térmicas interna da granja, colocando a ave em estresse térmico por frio, levando a ave a diminuir o consumo de ração e, conseqüentemente, redução no ganho de peso e pior conversão alimentar (BUENO, 2004). Enquanto que Silva et al. (2005) verificaram que o mês mais crítico foi janeiro, sendo que os meses de janeiro e fevereiro alcançaram os maiores valores de ITU (Índice de Temperatura e Umidade) médio, $78,3 \pm 0,7$ e $78,4 \pm 0,6$, respectivamente. Exceto o aviário BH que apresentou umidade relativa abaixo da recomendada pela literatura (MEDEIROS et al., 2005), os demais estavam adequados.

A Var no DH e no DWH foram maiores em relação à todos os aviários, entretanto ainda abaixo do preconizado por Yahav et al. (2001) e Cobb (2008). Var em condições adequada auxiliaria nas trocas térmicas convectivas uma vez que a temperatura encontra-se acima da especificação. Em relação à concentração de CO₂ e NH₃, as granjas apresentaram-se dentro do

limite considerado ideal, resultado relacionado à intensificação do sistema de ventilação para condições tão extremas.

Os valores da média e da mediana estiveram próximas na maioria dos casos, remetendo distribuição simétrica dos dados, o que é confirmado pelos valores de assimetria e curtose. Os dados considerados com distribuição normal, segundo o teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov (WARRICK & NIELSEN, 1980), foram os valores da UR no aviário DH, a Var para os aviários DH, DWH e SW e a concentração de NH_3 para BH e DWH. Em relação ao CV, obteve-se baixa variabilidade para Tbs e UR em todos os galpões, com exceção do teor de UR para o aviário BH. Os demais apresentaram alta variabilidade. Por meio destes resultados, é possível observar que o aviário DH apresentou melhor desempenho comparado com os demais aviários (Tabela 9).

Tabela 9. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	27,02	26,84	26,40	27,81	0,47	1,73	0,58	-1,14	0,01
	DH	26,96	27,00	25,25	28,26	0,84	3,10	-0,18	-1,19	0,04
	DWH	32,36	32,43	31,65	32,94	0,43	1,33	-0,37	-1,14	0,02
	SW	27,81	27,58	26,22	29,56	0,92	3,30	0,56	-0,82	0,03
UR	BH	47,23	46,73	35,50	62,30	6,01	12,73	-0,03	0,07	0,04
	DH	55,29	55,05	49,50	60,50	2,98	5,39	-0,08	-0,94	0,15 ^{ns}
	DWH	63,87	65,60	49,30	68,00	4,54	7,11	-1,74	2,22	0,01
	SW	55,25	56,93	43,00	64,30	5,19	9,40	-0,35	-0,64	0,01
Var	BH	0,79	0,72	0,27	1,72	0,34	43,48	0,86	0,12	0,02
	DH	1,15	1,07	0,32	2,18	0,35	30,16	0,72	1,25	0,05 ^{ns}
	DWH	1,05	1,07	0,42	1,52	0,26	24,87	-0,48	0,48	0,05 ^{ns}
	SW	0,62	0,60	0,00	1,04	0,19	30,71	-0,64	1,84	0,15 ^{ns}
CO ₂	BH	15,14	0,00	0,00	150,00	43,47	287,02	2,68	5,64	0,01
	DH	112,50	87,50	0,00	650,00	130,80	116,26	2,24	6,54	0,01
	DWH	64,90	0,00	0,00	300,00	82,10	126,44	0,93	-0,05	0,01
	SW	32,45	0,00	0,00	300,00	67,26	207,25	2,22	4,83	0,01
NH ₃	BH	2,29	2,00	0,00	5,00	1,56	67,98	0,06	-0,95	0,10 ^{ns}
	DH	1,26	1,00	0,00	3,00	1,05	83,74	0,11	-1,43	0,01
	DWH	2,90	3,00	0,00	6,00	2,01	69,29	-0,05	-1,22	0,08 ^{ns}
	SW	3,86	4,00	2,00	6,00	1,02	26,36	0,35	-0,66	0,01

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 10 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 21 dias de idade das aves. Foi possível observar que as condições externas de temperatura influenciaram nas condições internas, principalmente para o aviário DWH, o qual alcançou temperatura de 32,94 °C no interior do aviário, indicando que o

sistema de resfriamento por meio do painel evaporativo não foi acionado pelo produtor, o que seria positivo à ambiência térmica em decorrência da UR estar próximo de 53,00 %.

Tabela 10. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 21 dias de idade das aves no período do verão às 14h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	27,25	52,50
DH	28,10	45,00
DWH	29,10	53,00
SW	27,30	52,00

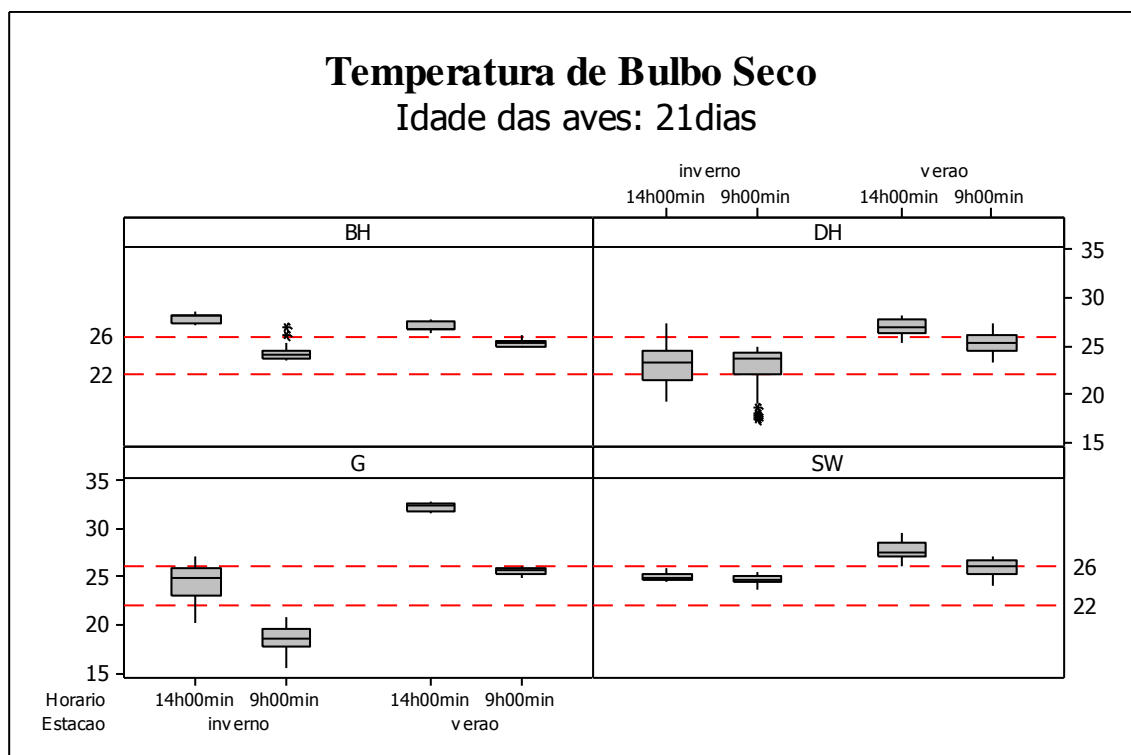
Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

O atributo temperatura de bulbo seco (Figura 33) apresentou menor variação para o aviário SW nas condições de inverno, denotando maior controle, resultado semelhante foi observado para o aviário DWH e nas condições de verão e para o BH no horário das 9h00min. A maior variabilidade dos dados ocorreu para o aviário DH e para o DWH na condição de inverno, enquanto o aviário DWH apresentou maior temperatura às 14h00min no verão pela influência do ambiente externo em relação às condições internas, quando a Tbs externo apresentava-se igual a 29,10 °C, indicando a necessidade de instalação de cobertura com maior isolamento térmico a fim de melhorar o ambiente interno e tornar o sistema de resfriamento mais eficiente.

De forma análoga, o aviário BH também apresentou maiores temperaturas no horário mais quente do dia, sendo que um melhor isolamento da cobertura auxiliaria no menor ganho de calor por radiação. O manejo do sistema de ventilação depende da estação do ano, no inverno a ventilação deve retirar o excesso de umidade e prover adequada condição climática às aves, enquanto que no verão a ventilação é usada principalmente para resfriar o ar e remover o vapor de água produzido pelos animais e pelo sistema de resfriamento evaporativo (BAPTISTA et al., 1999).

A análise estatística confirmatória, realizada pelo teste não-paramétrico de Wilcoxon, indicou que a Tbs apresenta chance de ultrapassar o limite de especificação segundo literatura para as aves com 21 dias de idade nos aviários BH no período do inverno (P-valor = 0,000), enquanto que nos aviários DH e DWH há a chance de não ultrapassar a temperatura de 25,00 °C

(P-valor = 0,000) e o aviário SW apresentou suficientemente em torno de 25,00 °C (P-valor = 0,101). No período do verão, nenhum dado esteve adequadamente em torno de 25,00 °C estando além dos limites de especificação segundo literatura.



BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 33. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental - temperatura de bulbo seco [°C] dos diferentes aviários, aos 21 dias de idade das aves.

O gráfico *boxplot* apresenta que a umidade relativa (Figura 34) mostrou-se com maior variabilidade para o aviário DH no período de inverno às 9h00min, como também seu valor esteve muito além do valor de referência em função das condições externas adversas, 90% de umidade relativa no exterior do aviário. Condições mais controladas podem ser observadas no aviário BH às 9h00min no período do verão, no aviário DH às 14h00min no período do verão. Segundo Aerts et al. (2001), a umidade relativa é um fator cujo controle é complicado de se realizar em relação aos outros atributos como a temperatura e concentração de gases. No período do inverno, os dados do teor de umidade relativa mensurados nos aviários DH, DWH e SW não estiveram em torno de 60% (P-valor = 0,000) com tendência de superar este valor, enquanto o

aviário BH apresentou tendência de apresentar valor aquém do limite de especificação (P-valor = 0,000). No período do verão houve a tendência de superar o teor de umidade relativa nos aviários DWH (P-valor = 0,000) e SW (P-valor = 0,002), a tendência de não superar para o aviário BH (P-valor = 0,000), e no aviário DH o teor de UR esteve em torno de 60% (P-valor = 0,110). Os valores com asteriscos indicaram *outliers* no aviário DH, no período do verão e horário das 9h00min, indicando necessidade de maior controle ambiental.

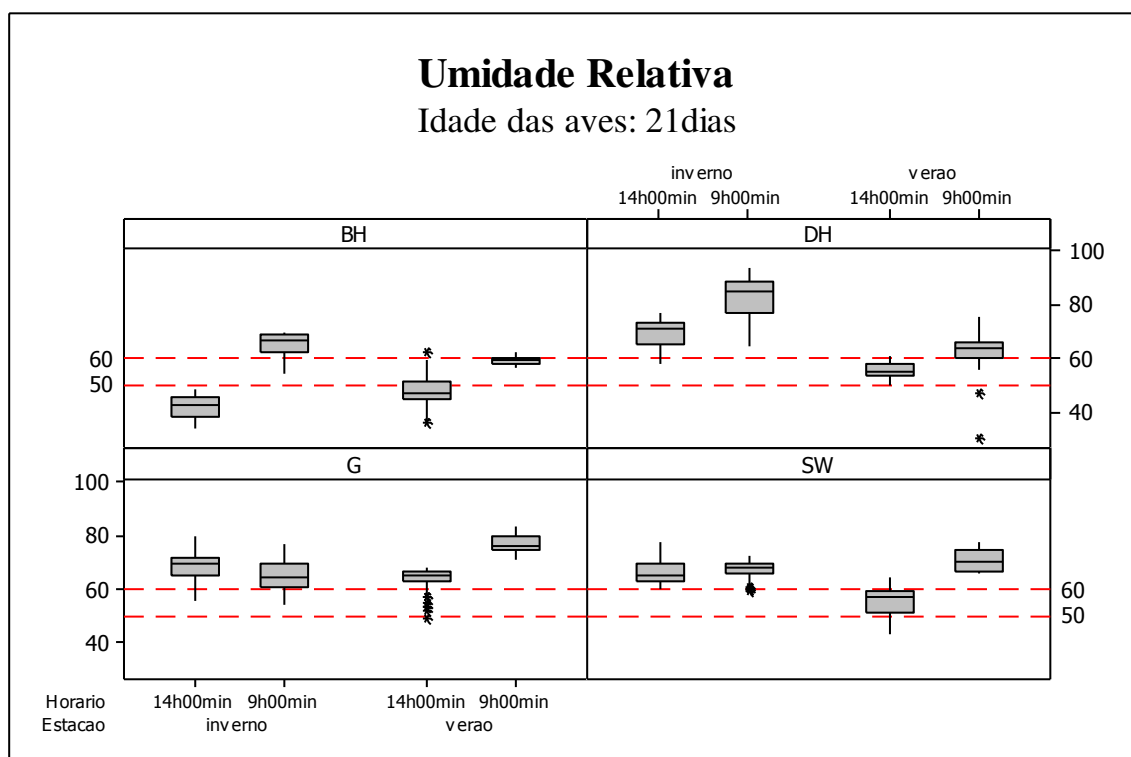
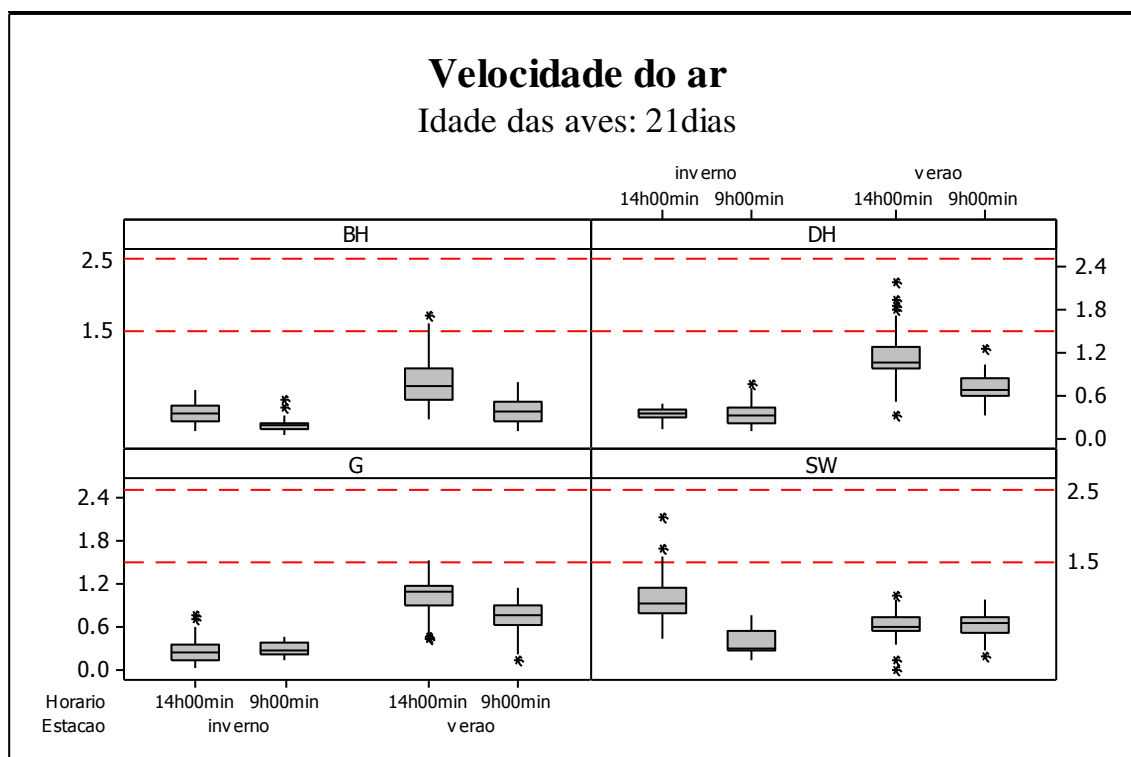


Figura 34. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental - umidade relativa [%] dos diferentes aviários, aos 21 dias de idade das aves.

A Figura 35 apresenta o gráfico *boxplot* para a variável de velocidade do ar, a qual apresenta dispersão para a maioria dos casos, com exceção para o aviário DWH e DH às 9h00min e 14h00min, respectivamente, ambos no período do inverno. A maior variabilidade pode ser observada às 14h00min em BH no período do verão e em SW no período do inverno. Resultados semelhantes foram verificados por Faria et al. (2008) em relação à Var, uma vez que a alta variabilidade deve-se ao vento ser caracterizado por mudar de magnitude e direção

constantemente com variações de até 100% na média da magnitude num intervalo de 5 minutos. A Var não esteve em torno do valor médio ($2,0 \text{ m s}^{-1}$) recomendado pela literatura (YAHAV et al., 2001; COBB, 2008), com tendência de se manter aquém do recomendado (P-valor = 0,000).

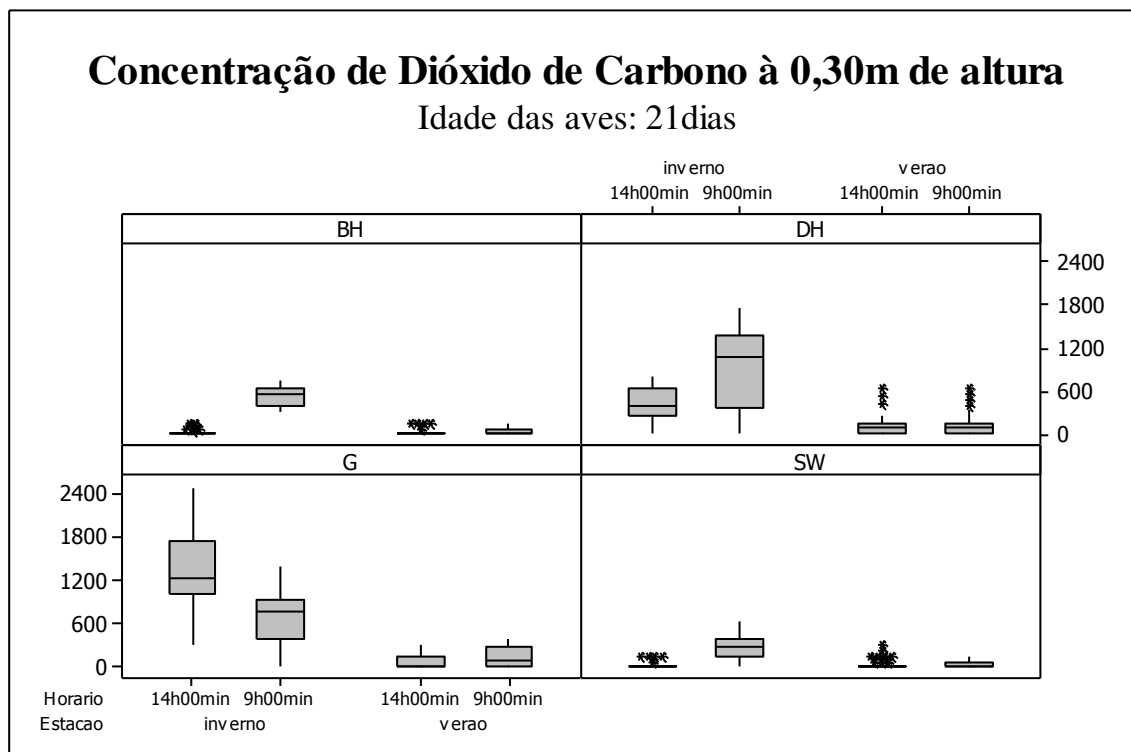


BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 35. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental - velocidade do ar [m s^{-1}] dos diferentes aviários, aos 21 dias de idade das aves.

A concentração de CO_2 (Figura 36) apresentou amplitudes maiores para o galpão DH e para o galpão DWH às 9h00min e 14h00min no período do inverno. Foi possível observar que há a presença de *outliers* nos gráficos de *boxplot*, sendo justificável pelo posicionamento dos sensores para aquisição do CO_2 em todo o aviário, assim os pontos coletados próximos às entradas de ar apresentaram valores próximos de zero (ar mais fresco e limpo), enquanto que os valores de CO_2 coletados próximos aos exaustores apresentaram os máximos valores de CO_2 . Concordando com os resultados obtidos por Carvalho et al. (2012) no estudo da ventilação mínima em pinteiros para criação de frangos de corte na fase inicial, característica estas própria de aviários com sistema de ventilação tipo túnel. Mesmo que houve maior amplitude dos dados,

nenhum aviário ultrapassou os níveis considerados ideais por Cobb (2008) e Globalgap (2012). A concentração de CO₂ para os aviários avaliados esteve aquém do valor máximo de especificação (3000 ppm) segundo a literatura com tendência de não ultrapassar o limite de segurança (P-valor = 1,000) para o período de verão e inverno. Desta forma, foi possível concluir que o sistema de ventilação foi suficiente para a renovação de ar no interior das instalações avaliadas.

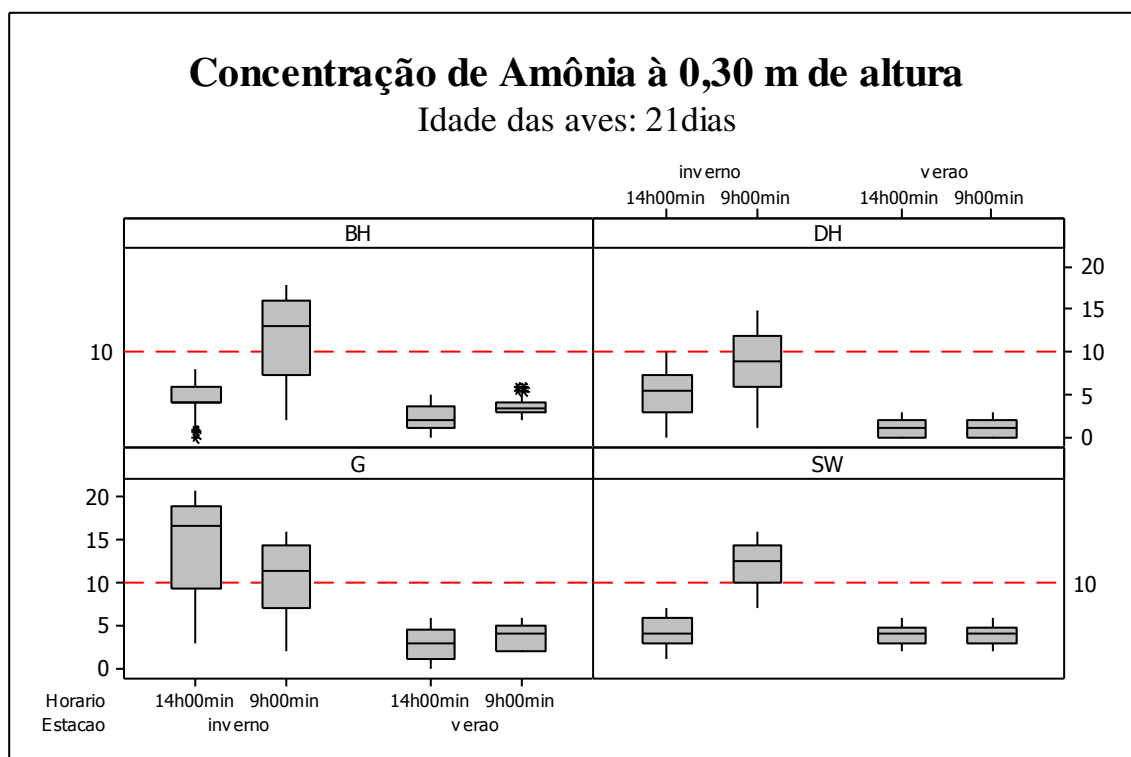


BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 36. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental – concentração de dióxido de carbono [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 21 dias de idade das aves.

A concentração de amônia (Figura 37) apresentou-se mais satisfatório no período do verão para todos os aviários em relação ao período de inverno, uma vez que o sistema de ventilação se intensificava para fazer a manutenção da temperatura em condições adequadas de criação. No inverno, a amplitude e variabilidade dos dados de NH₃ foram maiores pela menor quantidade de exaustores em funcionamento, fazendo com que no horário da manhã no inverno para SW e DH ultrapassasse os níveis considerados adequados ao bem-estar das aves, ou seja, maior que 10 ppm (COBB, 2008). No horário das 9h00min para o BH e para às 9h00min e

14h00min no período do inverno também houve pontos acima do limite preconizado pela literatura. A concentração de NH_3 esteve aquém do valor máximo de especificação (10 ppm) segundo a literatura com tendência de não ultrapassar o limite de segurança (P-valor = 1,000) para o período de verão e inverno nos aviários avaliados, com exceção do aviário DWH no período do inverno (P-valor = 0,000) com tendência de ultrapassar 10 ppm pela dificuldade em renovar o ar em aviários com largura maior que 20 m.



BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 37. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental – concentração de amônia [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 21 dias de idade das aves.

5.1.2 Dados correspondentes aos 28 dias de idade das aves

A média da Tbs (Tabela 11) para o aviário BH e DH foi adequada segundo Cobb (2008) e Nicholson et al. (2004) que preconizam entre 21 e 23 °C e 22 °C, respectivamente, entretanto os aviários DWH e SW não se apresentaram adequados, sendo DWH o que apresentou alta Tbs (entre 21,68 e 28,55 °C) comparado com os demais e, com umidade menor, indicando que a intensificação do sistema de resfriamento por meio do painel evaporativo seria aconselhável, de

forma a auxiliar na manutenção da UR. Em ambiente de temperatura acima de 27 °C, as aves aumentam sua produção de calor e a exigência de energia necessária para manter os mecanismos de resfriamento corporal, evidenciando a ocorrência de estresse por calor (HURWITZ et al., 1980; LEESON & SUMMERS, 1991; YUMIANTO et al., 1997). Sendo a média de Tbs no aviário SW caracterizado em ambiente de conforto térmico (OLIVEIRA et al., 2006).

A UR se apresentou alta para BH e SW, enquanto o DH foi adequado segundo Tinôco (2004). A Var esteve muito aquém do recomendado pela literatura, o qual prevê para esta idade valores entre 1,5 e 2,0 m s⁻¹ e, segundo Barnwell & Rossi (2003), melhores resultados zootécnicos foram obtidos quando a Var oscilava entre 2,29 e 2,41 m s⁻¹.

Os aviários BH e DH apresentaram nível de concentração de CO₂ e NH₃ adequados, enquanto o DWH e o SW apresentaram médias de 19,68 ppm e 13, 18 ppm, respectivamente, sendo acima dos valores preconizado por Cobb (2008) e abaixo pelo recomendado pelo Globalgap (2012), entretanto foi possível observar que o DWH alcançou nível máximo de 32 ppm, o que remete a necessidade de intensificação do sistema de ventilação e também tratamento de cama que pode auxiliar na redução dos níveis de NH₃ (BAEK et al., 2004).

A variabilidade dos dados foi baixa para os atributos Tbs e UR , com exceção da UR no DWH com variabilidade moderada e, os demais com alta variabilidade com exceção da concentração de NH₃ para o SW que apresentou variabilidade moderada. Observou-se normalidade dos dados para o atributo Tbs nos aviários BH, DH e SW, como também para a UR no DWH, para a Var em todos os aviários, para CO₂ nos aviários DH e DWH e para a concentração de amônia do aviário DH.

Tabela 11. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 9h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	21,50	21,58	19,75	22,89	1,05	4,89	-0,26	-1,30	0,05 ^{ns}
	DH	21,96	22,25	18,96	24,88	1,80	8,19	-0,06	-1,01	0,15 ^{ns}
	DWH	26,25	27,00	21,68	28,55	2,16	8,21	-1,09	-0,17	0,01
	SW	24,58	24,54	23,66	25,24	0,34	1,39	-0,09	0,06	0,07 ^{ns}
UR	BH	79,41	78,10	71,90	85,20	3,85	4,84	0,18	-1,26	0,01
	DH	62,47	61,75	53,60	75,80	5,89	9,43	0,26	-1,09	0,04
	DWH	45,46	43,74	35,40	61,20	6,89	15,15	0,71	-0,27	0,07 ^{ns}
	SW	78,93	78,03	74,60	87,00	3,22	4,08	1,13	0,73	0,01
Var	BH	0,25	0,26	0,06	0,60	0,10	41,60	0,96	1,70	0,15 ^{ns}
	DH	0,40	0,38	0,19	0,61	0,10	24,16	0,44	0,02	0,15 ^{ns}
	DWH	0,26	0,27	0,01	0,45	0,10	36,69	-0,49	0,54	0,15 ^{ns}
	SW	0,27	0,27	0,09	0,66	0,12	45,41	0,92	1,18	0,15 ^{ns}
CO ₂	BH	288,90	300,00	0,00	900,00	232,80	80,56	0,46	-0,65	0,02
	DH	461,50	481,30	0,00	900,00	306,60	66,43	-0,09	-1,40	0,08 ^{ns}
	DWH	774,30	737,50	0,00	1750,00	504,30	65,13	0,26	-1,00	0,15 ^{ns}
	SW	522,40	550,00	150,00	1000,00	208,50	39,91	0,32	-0,08	0,01
NH ₃	BH	5,48	6,00	0,00	9,00	2,55	46,56	-0,42	-0,89	0,01
	DH	4,26	4,00	0,00	8,00	2,61	61,17	-0,08	-1,23	0,05 ^{ns}
	DWH	19,68	21,63	2,00	32,00	8,97	45,59	-0,47	-1,08	0,03
	SW	13,18	13,50	6,00	18,00	2,51	19,06	-0,79	0,77	0,01

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 12 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 28 dias de idade das aves. Foi possível observar que as condições externas de temperatura, entre 15,00 e 17, 25 °C auxiliaram positivamente no meio em que o animal está com exceção do DWH o qual apresentou máxima Tbs de 28,55 °C, indicando dificuldade na renovação do ar em função dos baixos valores da Var já discutido anteriormente e consequentemente valores acima do limite de especificação de concentração de NH₃.

Tabela 12. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 21 dias de idade das aves no período do inverno às 9h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	17,25	96,00
DH	15,00	60,00
DWH	15,50	77,00
SW	17,25	96,00

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 13 apresenta a análise estatística descritiva das aves de 28 dias sob condições de inverno às 14h00min. A média calculada para a Tbs aponta que o sistema de ventilação foi eficaz para a manutenção térmica para o aviário DH e para o BH, enquanto os aviários DWH e SW atingiram temperatura máxima de 29,35 °C, muito além da Tbs de referência, sendo entre 21 e 23 °C para o manual de frango de corte Cobb (2008) e 20°C para Salgado & Nääs (2010).

A UR esteve adequada para os aviários, ou seja, com valor entre 50 e 70 % (TINÔCO, 2004). A velocidade do ar ainda se manteve abaixo do preconizado pela literatura, o maior valor da média foi alcançado pelo DH com 1,09 m s⁻¹, e os menores valores foram encontrados no SW, com valor igual à 0,35 m s⁻¹. As concentrações de CO₂ e NH₃ estiveram abaixo do limite máximo preconizado pela Cobb (2008), enquanto os aviários DWH e SW apresentaram valores máximos de 18 ppm e 15 ppm, respectivamente, inserindo as aves em condições perigosas de alojamento, Kristensen e Wathes (2000) afirmaram que altos níveis de amônia são responsáveis pelo surgimento de cegueira e doenças pulmonares, o que pode acarretar problemas no ganho de peso no final do lote (MILES et al., 2004).

Os dados de Tbs e UR para todos os galpões apresentaram baixa variabilidade enquanto que os demais apresentaram alta variabilidade pela avaliação do coeficiente de variação. A Tbs para DH e SW apresentou normalidade pelo teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, como também a UR para o DWH e SW, a Var para todos os aviários, a concentração de CO₂ para SW e a concentração de NH₃ para DWH e SW. Segundo Little & Hills (1978) a normalidade também pode ser observada por meio dos valores de média e mediana os quais devem estar próximos, sendo que CO₂ para BH e DH apresentaram maior distanciamento entre a média e a mediana, indicando dados assimétricos. Em relação ao CV (WARRICK & NIELSEN, 1980),

obteve-se baixa variabilidade para Tbs e UR em todos os galpões, e os demais apresentaram alta variabilidade.

Tabela 13. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes, aos 28 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	24,62	24,73	23,85	25,10	0,39	1,58	-0,89	-0,41	0,01
	DH	22,97	22,97	21,54	24,58	0,90	3,92	0,06	-0,85	0,15 ^{ns}
	DWH	27,06	26,74	25,01	29,35	1,41	5,20	0,21	-1,33	0,01
	SW	26,01	26,03	25,12	26,98	0,54	2,09	0,09	-0,89	0,15 ^{ns}
UR	BH	66,52	67,98	60,20	71,30	3,83	5,76	-0,28	-1,60	0,01
	DH	57,72	56,00	50,70	76,20	6,66	11,54	1,10	0,46	0,01
	DWH	51,12	50,88	44,10	58,00	4,07	7,96	-0,01	-1,22	0,14 ^{ns}
	SW	69,96	70,05	63,10	76,50	3,30	4,71	-0,01	-0,91	0,15 ^{ns}
Var	BH	0,44	0,44	0,08	0,98	0,23	52,23	0,46	-0,62	0,05 ^{ns}
	DH	1,09	1,09	0,36	1,66	0,28	25,51	-0,36	-0,04	0,15 ^{ns}
	DWH	0,62	0,65	0,07	1,09	0,27	43,59	-0,49	-0,71	0,15 ^{ns}
	SW	0,35	0,33	0,02	0,80	0,17	47,34	0,72	0,61	0,07 ^{ns}
CO ₂	BH	67,80	0,00	0,00	550,00	136,10	200,78	2,14	3,97	0,01
	DH	21,63	0,00	0,00	150,00	49,45	228,58	2,01	2,42	0,01
	DWH	363,20	362,50	0,00	750,00	170,60	46,96	0,18	-0,15	0,01
	SW	426,20	400,00	0,00	750,00	195,50	45,87	-0,12	-0,88	0,05 ^{ns}
NH ₃	BH	5,10	5,00	2,00	9,00	1,89	36,99	0,30	-0,08	0,01
	DH	1,27	1,50	0,00	3,00	1,12	88,07	0,07	-1,55	0,01
	DWH	9,10	8,75	3,00	18,00	4,16	45,70	0,41	-0,79	0,15 ^{ns}
	SW	9,90	10,00	1,00	15,00	3,16	31,95	-0,57	0,25	0,15 ^{ns}

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 14 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 28 dias de idade das aves. É possível observar que as

condições externas de temperatura, entre 20,25 e 27,20 °C auxiliaram positivamente na ambiência do ambiente interno.

Tabela 14. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 28 dias de idade das aves no período do inverno às 14h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	20,25	82,50
DH	22,50	53,00
DWH	27,20	34,00
SW	20,25	82,50

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

O valor médio da Tbs esteve além do recomendado pela literatura, sendo recomendado entre 21 e 23 °C (COBB, 2008) e 22 °C (NICHOLSON et al., 2004) para os aviários estudados, embora o aviário SW esteve mais próximo do recomendado (Tabela 15). Segundo Oliveira et al. (2006), os aviários BH e DWH caracterizaram ambiente de conforto térmico. Enquanto que a umidade relativa apresentou dentro do intervalo recomendado apenas para o BH, enquanto os outros se apresentaram além do valor considerado ideal, dificultando a perda de calor por meios convectivos das aves, ou seja, pela respiração, obtendo valores máximos de 98,30% para o DH, o qual apresentava velocidade do ar com média de $1,15 \text{ m s}^{-1}$, mas valor máximo de $1,80 \text{ m s}^{-1}$, o que pode reduzir o efeito adverso da UR alta.

A Var para BH, DWH e SW apresentou-se aquém do recomendado, indicando necessidade de intensificação do sistema de ventilação para contrabalancear os efeitos adversos da UR e Tbs acima do valor de referência. Desta forma, a média do valor da Var para o SW e DHW justifica a concentração de NH_3 maior que o valor de referência para Cobb (2008) que recomenda 10 ppm, sendo a concentração máxima de 16 ppm e 17 ppm para os aviários SW e DWH, respectivamente. Enquanto que a concentração de CO_2 esteve abaixo do limite máximo considerado ideal para a criação de aves.

A variabilidade dos dados foi baixa para a Tbs e para a UR, já para os outros aviários atributos foi alta, em função dos valores obtidos do coeficiente de variação. Por meio do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov observou-se a normalidade dos dados para a Tbs para os

aviários de DH, DWH e SW, para a UR nos aviários DWH e SW, para a Var em BH e DH, bem como a concentração de CO₂ no SW e a concentração de NH₃ nos aviários BH, DH e SW.

Tabela 15. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	25,36	25,34	24,93	25,85	0,32	1,24	0,09	-1,56	0,01
	DH	26,45	26,47	24,62	27,56	0,74	2,80	-0,71	0,21	0,06 ^{ns}
	DWH	25,34	25,31	24,59	26,07	0,43	1,71	-0,08	-0,96	0,15 ^{ns}
	SW	23,78	23,95	22,00	25,22	1,00	4,20	-0,30	-1,12	0,13 ^{ns}
UR	BH	67,51	67,74	61,80	69,50	1,44	2,14	-1,79	4,62	0,02
	DH	84,18	87,39	71,70	98,30	7,65	9,09	-0,22	-1,25	0,01
	DWH	86,76	86,85	79,40	93,20	3,91	4,50	-0,04	-0,88	0,15 ^{ns}
	SW	86,21	85,99	81,00	92,40	3,18	3,69	0,22	-0,80	0,15 ^{ns}
Var	BH	0,87	0,89	0,36	1,43	0,26	29,57	-0,21	-0,37	0,15 ^{ns}
	DH	1,15	1,08	0,72	1,80	0,29	25,45	0,76	-0,24	0,09 ^{ns}
	DWH	0,51	0,42	0,15	1,08	0,25	49,05	0,53	-0,90	0,01
	SW	0,38	0,35	0,11	0,69	0,13	33,70	0,34	-0,61	0,04
CO ₂	BH	30,29	0,00	0,00	150,00	57,54	189,98	1,49	0,39	0,01
	DH	77,90	37,50	0,00	300,00	89,70	115,15	0,78	-0,35	0,01
	DWH	576,20	475,00	0,00	1400,00	398,30	69,13	0,65	-0,77	0,01
	SW	260,30	275,00	0,00	550,00	154,30	59,28	-0,06	-0,78	0,12 ^{ns}
NH ₃	BH	6,71	6,75	3,00	11,00	2,21	32,97	0,20	-1,11	0,14 ^{ns}
	DH	3,82	4,00	0,00	7,00	1,63	42,59	-0,21	-0,23	0,15 ^{ns}
	DWH	8,45	6,75	2,00	17,00	4,68	55,35	0,62	-0,98	0,01
	SW	10,26	10,00	3,00	16,00	3,67	35,78	-0,08	-0,98	0,15 ^{ns}

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 16 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 28 dias de idade das aves. É possível observar que as condições externas de temperatura, entre 21,20 e 23,60 °C, auxiliaram positivamente na

ambiência do ambiente interno. A menor Tbs externa no aviário SW produziu melhor ambiência térmica no interior.

Tabela 16. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 28 dias de idade das aves no período do verão às 9h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	22,80	80,00
DH	22,00	68,00
DWH	23,60	79,00
SW	21,20	90,00

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 17 apresenta a estatística descritiva das variáveis coletadas aos 28 dias das aves sob condição de verão no horário mais quente do dia, às 14h00min. Nestas condições críticas, é possível observar que a Tbs esteve acima dos 22 °C recomendados na literatura nos quatro aviários estudados (NICHOLSON et al., 2004). A UR apresentou-se acima do intervalo recomendado da literatura, entre 50 e 70 % - Cobb (2008), para os aviários DH, DWH e SW, o qual contribui ainda mais para o estresse térmico das aves e a dificuldade de troca de calor, enquanto que o aviário BH apresentou valor aquém do recomendado, remetendo maior potencial de perda de calor se intensificar o sistema de resfriamento por nebulização no interior do aviário e na entrada do ar e por sua Var estar adequada (YAHAV et al., 2001; MEDEIROS et al., 2005) favorecendo a perda de calor das aves. Neste sentido, a Var no DH, DWH e SW estavam aquém do recomendado pela literatura e no caso do SW com valor média de $0,36 \text{ m s}^{-1}$ juntamente com a UR e Tbs acima do recomendado pode vir a ter problemas na conversão alimentar e ganho de peso das aves por estresse térmico das aves, da mesma forma que o sistema de ventilação não foi capaz de manter a concentração de amônia em níveis adequados para SW, e os demais aviários apresentaram valores adequados em relação à literatura. Esse resultado indica a necessidade de intensificação do sistema de ventilação e de resfriamento evaporativo no aviário SW.

A temperatura ambiental e a umidade relativa influenciam a perda de calor sensível e latente do corpo das aves, sendo que Tbs com valor máximo de 21 °C auxiliam nas perdas

sensíveis de calor por meio dos processos de radiação, condução e convecção (NORTH & BELL, 1990).

A partir do teste de normalidade, os atributos que apresentaram normalidade foram a Tbs para SW, a UR para DWH e SW, a Var para BH, DH e DWH e a concentração de NH_3 para BH, DWH e SW. Em função do coeficiente de variação e a classificação de Warrick e Nielsen (1980) é possível afirmar que a Tbs apresentou variabilidade baixa, assim como a UR para DWH e SW, enquanto que a UR para BH e DH foi moderada e para o restante dos dados da Tabela 17 apresentou alta variabilidade.

Tabela 17. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	28,76	28,82	27,57	29,83	0,63	2,19	-0,11	-1,30	0,04
	DH	26,73	26,46	25,08	28,71	1,07	3,99	0,55	-0,68	0,01
	DWH	28,93	28,77	28,10	29,80	0,56	1,94	0,16	-1,31	0,01
	SW	25,45	25,64	23,72	27,04	1,08	4,24	-0,11	-1,29	0,15 ^{ns}
UR	BH	49,39	52,60	28,60	58,80	9,42	19,07	-1,00	-0,29	0,01
	DH	81,17	82,63	54,60	96,20	10,21	12,58	-1,04	0,91	0,01
	DWH	78,23	77,39	72,90	84,80	3,44	4,40	0,41	-0,81	0,14 ^{ns}
	SW	78,51	79,08	65,30	86,90	5,27	6,71	-0,89	0,50	0,07 ^{ns}
Var	BH	1,58	1,54	0,94	2,65	0,42	26,28	0,65	0,23	0,15 ^{ns}
	DH	1,21	1,22	0,62	2,09	0,31	25,53	0,38	0,56	0,15 ^{ns}
	DWH	0,78	0,77	0,34	1,36	0,23	29,14	0,18	-0,17	0,15 ^{ns}
	SW	0,36	0,33	0,11	0,65	0,12	34,03	0,12	-0,78	0,04
CO ₂	BH	6,49	0,00	0,00	150,00	27,51	423,82	4,36	18,87	0,01
	DH	6,49	0,00	0,00	150,00	27,51	423,82	4,36	18,87	0,01
	DWH	206,30	150,00	0,00	650,00	183,30	88,88	0,98	0,54	0,01
	SW	284,90	312,50	0,00	650,00	174,40	61,23	-0,05	-0,90	0,01
NH ₃	BH	4,60	4,25	1,00	9,00	1,93	42,04	0,33	-0,63	0,05 ^{ns}
	DH	2,89	3,00	0,00	5,00	1,34	46,46	-0,52	-0,37	0,01
	DWH	5,88	5,63	1,00	11,00	2,55	43,43	0,35	-0,73	0,15 ^{ns}
	SW	11,35	11,88	2,00	19,00	4,98	43,87	-0,17	-0,96	0,15 ^{ns}

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

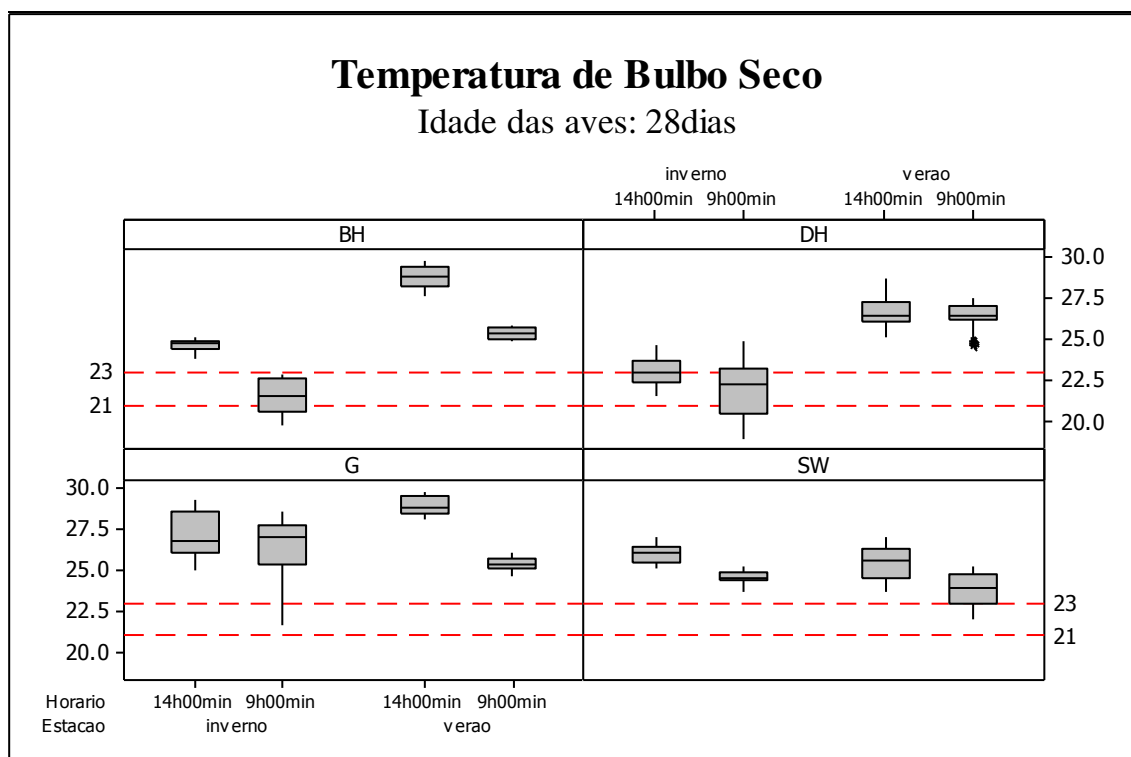
A Tabela 18 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 28 dias de idade das aves. Foi possível observar que as condições externas de temperatura, entre 24,20 e 28,10 °C, influenciaram negativamente na ambiência interna. A menor Tbs externa no aviário DWH produziu a pior ambiência no interior do aviário, indicando deficiência no sistema de resfriamento através dos painéis evaporativos.

Tabela 18. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 28 dias de idade das aves no período do verão às 9h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	26,65	62,00
DH	28,10	57,00
DWH	24,20	79,00
SW	27,00	60,00

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

O gráfico de *boxplot* (Figura 38) apresenta a variabilidade da Tbs para as aves com 28 dias de idade. A baixa variabilidade da Tbs pode ser observada no aviário BH às 14h00min no período do inverno, no aviário DWH às 9h00min no período de verão e no aviário SW às 9h00min no período de inverno. Os maiores valores encontrados às 14h00min estiveram em função dos valores maiores de Tbs no ambiente externo, sendo que esta variável nos aviários BH e DWH apresentaram elevados valores nos horários da tarde indicando necessidade de uma cobertura com resistência térmica maior para impedir o ganho de calor por radiação solar através das estruturas. Nos períodos de inverno e verão, os dados da Tbs mensurados nos quatro aviários não estiveram em torno de 22 °C, exigida pela linhagem, com tendência de superar este valor (P-valor = 0,000).



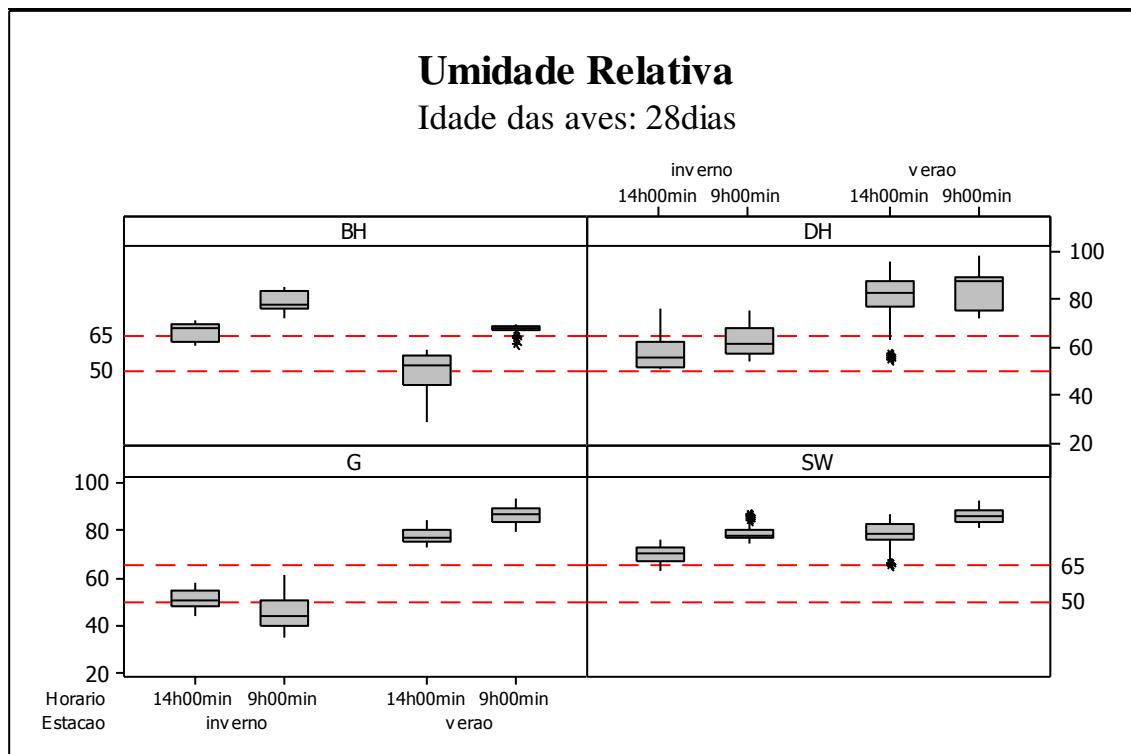
BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 38. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental - temperatura de bulbo seco [°C] dos diferentes aviários, aos 28 dias de idade das aves.

A umidade relativa (Figura 39) apresentou menores variações. No aviário DWH no período do verão e para o SW no período do inverno, sendo que ambos os aviários apresentaram maior homogeneidade em relação ao BH e DH. Apenas no horário das 9h00min no verão o aviário BH apresentou a menor variabilidade da UR, entretanto apresentando *outliers*. Altos valores de UR no SW às 9h00min no verão encontrados no interior do aviário estiveram em função dos altos níveis encontrados no ambiente externo, 90% de umidade (Tabela 7).

O teste estatístico não-paramétrico de Wilcoxon demonstrou que a UR mensurada nos aviários BH e DWH não estiveram em torno de 60% com tendência de redução do valor do teor de umidade relativa (P-valor = 0,000), indicando que a utilização do sistema de resfriamento pelo painel evaporativo é recomendada, entretanto, o aviário SW não esteve com o valor da mediana próximo de 60% com tendência de ultrapassar (P-valor = 0,000). A UR para o aviário DH esteve em torno de 60% (P-valor = 0,851) com tendência de ultrapassar este teor. No período do verão, os aviários DH, DWH e SW não apresentaram teor de umidade relativa em torno de 60% com

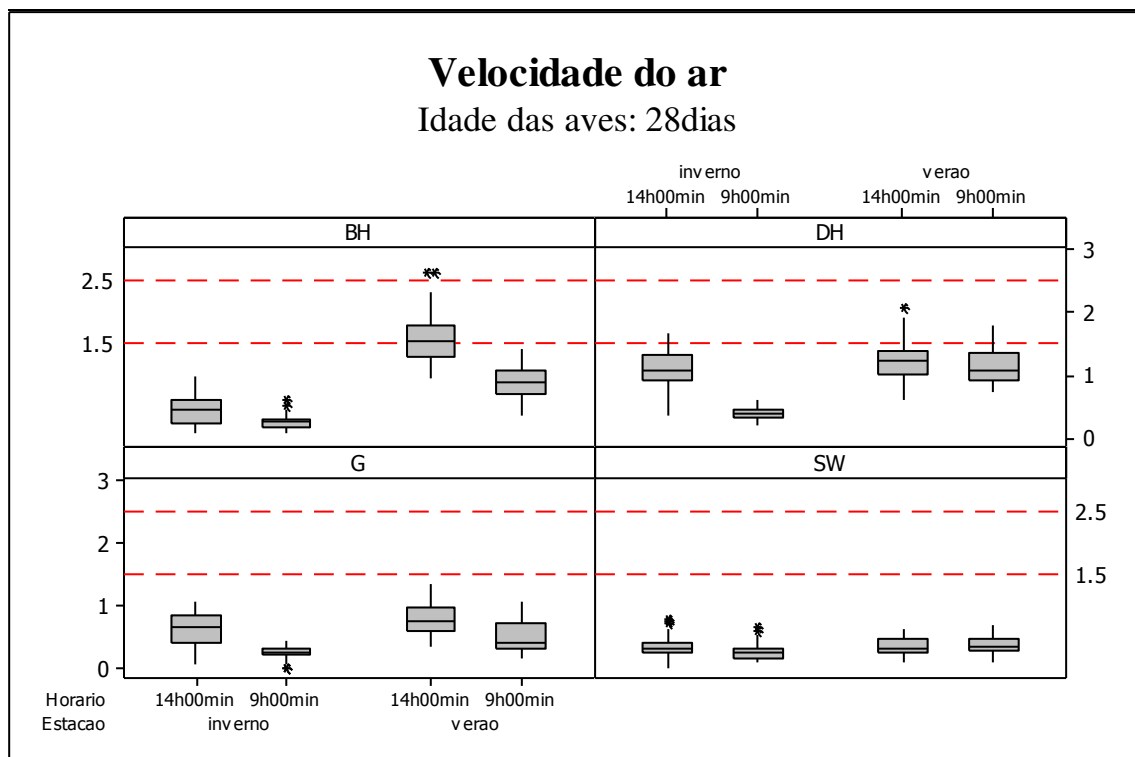
tendência de superar este valor (P-valor = 0,000), enquanto o BH apresentou valores de umidade relativa suficientemente em torno de 60% (P-valor = 0,078).



BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 39. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental - umidade relativa [%] dos diferentes aviários, aos 28 dias de idade das aves.

A velocidade do ar (Figura 40) apresentou baixa variabilidade para o aviário DH às 9h00min no período do inverno, resultados semelhantes com valores de *outliers* foram observados no DWH e BH às 9h00min no inverno e também em SW no período do inverno. A maior variabilidade da Var foi observada nos aviários BH e DH no período do verão, sendo o melhor controle no aviário SW, embora, com valores abaixo do intervalo considerado adequado pela literatura. A Var não esteve em torno do valor médio ($2,0 \text{ m s}^{-1}$) recomendado pela literatura (YAHAV et al., 2001; COBB, 2008), com tendência de se manter aquém do recomendado (P-valor = 0,000).

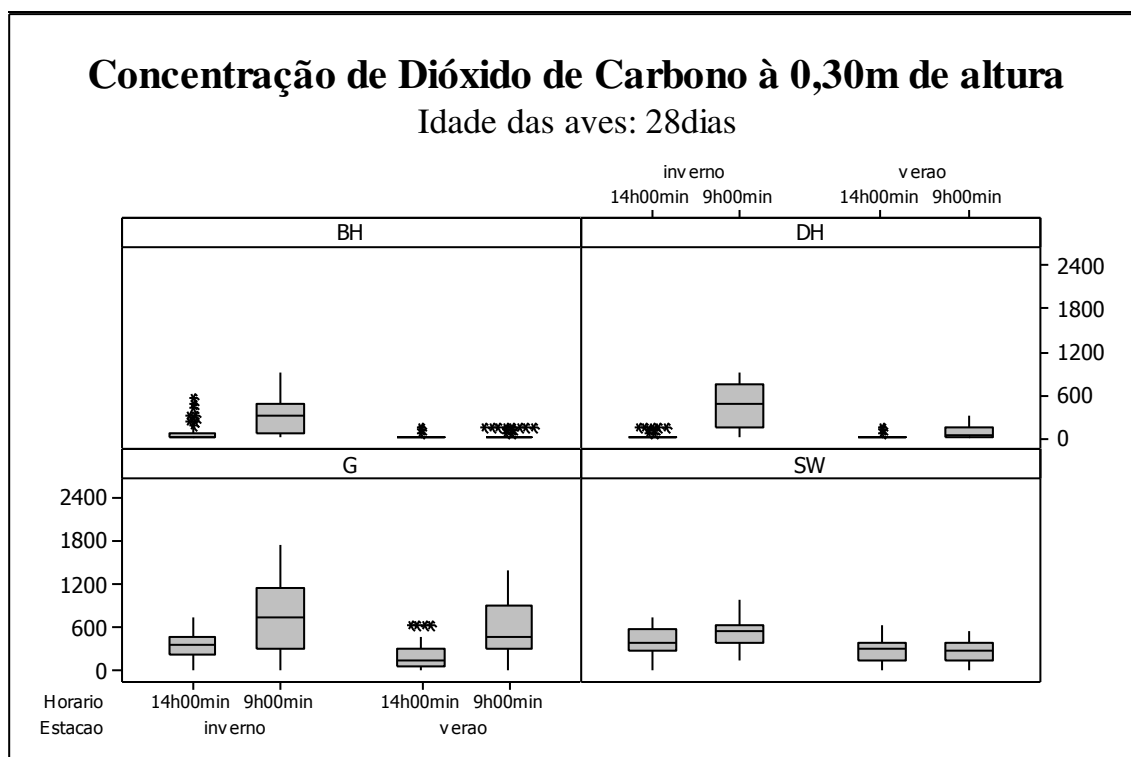


BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 40. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental - velocidade do ar [m s^{-1}] dos diferentes aviários, aos 28 dias de idade das aves.

A concentração de CO_2 apresentou baixa variabilidade pela observação do gráfico *boxplot* (Figura 41) para os aviários BH e DH às 14h00min no período do inverno e às 9h00min e 14h00min no período de verão. A variabilidade maior foi observada às 9h00min no período de inverno e verão no aviário DWH, e o aviário SW apresentou variabilidade semelhante sob as diferentes condições coletadas.

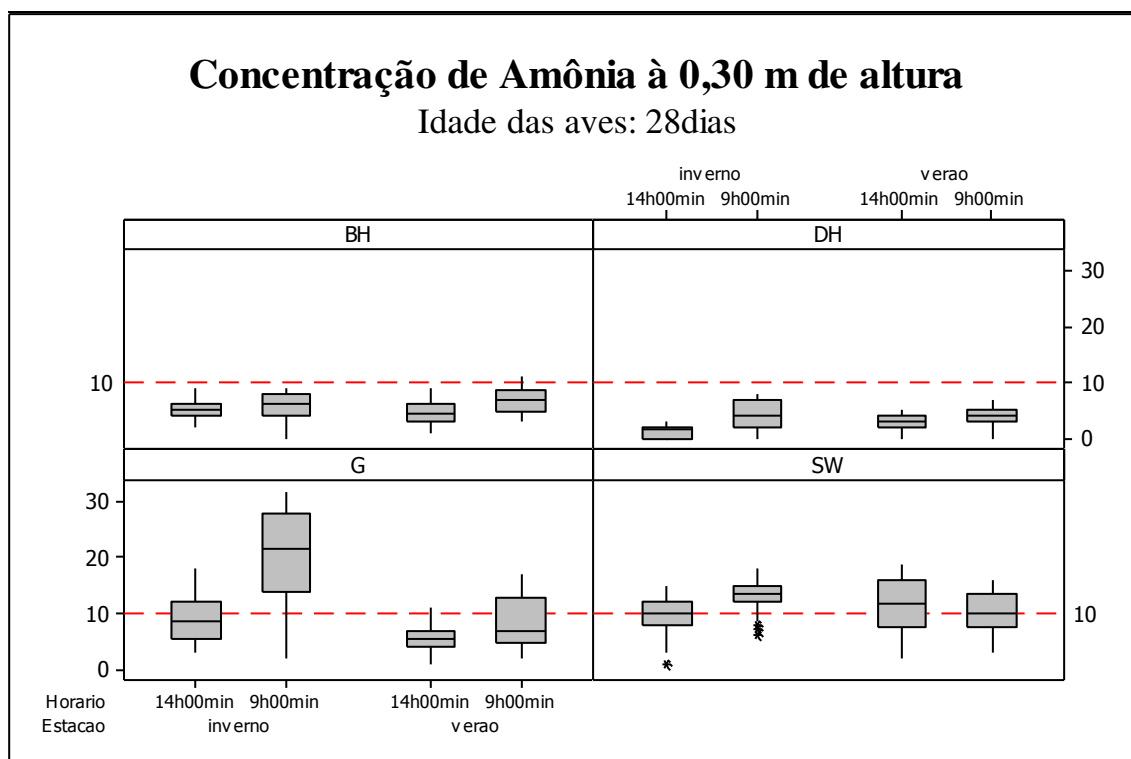
A concentração de CO_2 para os aviários avaliados esteve aquém do valor máximo de especificação (3000 ppm) segundo a literatura com tendência de não ultrapassar o limite de segurança (P-valor = 1,000) para o período de verão e inverno.



BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 41. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental – concentração de dióxido de carbono [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 28 dias de idade das aves.

O gráfico *boxplot* para a concentração de NH_3 (Figura 42) apresentou menores variabilidades no período do verão para o aviário DH, enquanto que o aviário BH apresentou variabilidade moderada em relação aos outros nas diferentes condições estudadas. A maior variabilidade foi observada no aviário DWH às 9h00min sob condição de inverno, neste período os dados ultrapassaram o limite máximo considerado adequado para Cobb (2008) de 10 ppm e para o limite considerado máximo para o Globalgalp (2012) de 20 ppm. Já as condições de SW também apresentaram valores que Cobb (2008). A concentração de NH_3 esteve aquém do valor máximo de especificação (10 ppm) segundo a literatura com tendência de não ultrapassar o limite de segurança (P-valor = 1,000) para o período de verão e inverno nos aviários avaliados, com exceção do aviário DWH no período do inverno (P-valor = 0,000) com tendência de ultrapassar 10 ppm e no aviário SW no período de inverno (P-valor = 0,000) e verão (P-valor = 0,037) com com tendência de ultrapassar 10 ppm.



BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 42. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental – concentração de amônia [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 28 dias de idade das aves.

5.1.3 Dados correspondentes aos 35 dias de idade das aves

A Tabela 19 apresenta a estatística descritiva das variáveis coletadas aos 35 dias das aves, sob condição de inverno no horário matutino. A Tbs esteve acima do recomendado para os quatro aviários estudados em relação ao recomendado pela literatura de 22°C (NICHOLSON et al., 2004), enquanto a média do valor do aviário SW foi a mais próxima do ideal, em relação ao intervalo de conforto térmico proposto por Baêta & Souza (1997), todos os aviários estavam adequados.

A UR apresentou-se 0,50 e 0,62% acima do intervalo recomendado pela literatura (COBB, 2008), entre 50 e 70 %, para os aviários DH e DWH, respectivamente. Em relação à velocidade do ar, os aviários apresentaram valores médios aquém do indicado pela literatura, sendo que o aviário SW foi o que mais se aproximou do valor adequado (YAHAV et al., 2001; MEDEIROS et al., 2005). Neste sentido, a Var média no aviário DWH foi igual à 0,47 m s⁻¹, justificando a maior concentração de NH₃, acima do limite proposto por Cobb (2008) e

classificada como adequado segundo Globalgap (2012). Todos os aviários apresentaram nível adequado de CO₂.

A partir do teste de normalidade, os atributos que não apresentaram normalidade foram a Tbs para SW, a UR para BH e SW, a Var para DH, a concentração de NH₃ para DH e SW e a concentração de CO₂ para BH, DH e SW. Em função do coeficiente de variação e a classificação de Warrick & Nielsen (1980) é possível afirmar que a Tbs apresentou variabilidade baixa, assim como a UR para todos os aviários, enquanto que a Var para BH foi moderada. A variável Var para os aviários DH, DWH e SW, e a concentração de amônia e dióxido de carbono para os quatro aviários avaliados apresentaram alta variabilidade. Os valores da média e mediana se apresentaram próximos.

Tabela 19. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	23,61	23,57	22,58	24,89	0,71	3,01	0,38	-0,92	0,07 ^{ns}
	DH	23,60	23,68	22,01	24,98	0,86	3,66	-0,22	-0,85	0,15 ^{ns}
	DWH	23,50	23,56	19,45	26,90	2,02	8,58	0,12	-0,80	0,15 ^{ns}
	SW	22,94	22,89	21,95	23,98	0,64	2,77	-0,04	-1,42	0,04
UR	BH	65,18	65,25	52,50	74,40	6,07	9,32	-0,44	-0,47	0,02
	DH	70,50	70,31	64,30	74,60	2,59	3,68	-0,23	-0,40	0,15 ^{ns}
	DWH	70,62	71,22	56,30	86,20	8,47	11,99	0,02	-0,92	0,15 ^{ns}
	SW	68,60	67,83	64,20	77,70	2,70	3,93	1,05	1,43	0,01
Var	BH	0,80	0,78	0,41	1,21	0,19	23,61	0,14	-0,79	0,15 ^{ns}
	DH	0,87	0,80	0,21	1,50	0,33	37,65	0,42	-0,55	0,01
	DWH	0,47	0,45	0,02	0,93	0,18	38,30	0,30	0,54	0,15 ^{ns}
	SW	1,06	1,04	0,24	1,83	0,39	36,84	0,26	-0,68	0,15 ^{ns}
CO ₂	BH	138,50	93,80	0,00	550,00	151,80	109,67	0,75	-0,53	0,01
	DH	242,30	281,30	0,00	550,00	200,90	82,91	0,11	-1,44	0,01
	DWH	1001,40	900,00	150,00	2350,00	576,20	57,54	0,58	-0,30	0,15 ^{ns}
	SW	60,60	0,00	0,00	300,00	88,50	146,16	1,28	0,64	0,01
NH ₃	BH	5,80	6,00	0,00	11,00	3,15	54,24	-0,22	-0,96	0,15 ^{ns}
	DH	5,59	5,00	2,00	10,00	2,19	39,25	0,43	-0,96	0,04
	DWH	12,06	11,75	4,00	22,00	5,01	41,53	0,43	-0,62	0,09 ^{ns}
	SW	5,18	5,00	2,00	10,00	2,61	50,43	0,29	-1,30	0,01

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 20 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 35 dias de idade das aves. É possível observar que as condições externas de temperatura, inferior a 17,50 °C para os aviários avaliados auxiliaram na manutenção do ambiente interno. O maior teor de umidade relativa externa observada no aviário BH (93,50%) não influenciou nas condições internas.

Tabela 20. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 35 dias de idade das aves no período do inverno às 9h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	17,00	93,50
DH	17,50	82,00
DWH	14,90	80,00
SW	14,90	80,00

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 21 apresenta a estatística descritiva das variáveis sob condição de inverno, coletado às 14h00min quando as aves apresentavam 35 dias de idade. A Tbs apresentou-se acima do intervalo considerado adequado à produção de aves em relação ao preconizado por Nicholson et al. (2004) e Cobb (2008) e, os aviários DH, DWH e SW podem ser considerados ambientes adequados em relação à literatura Tinôco (2004) o qual preconiza Tbs entre 15 e 26 °C para o melhor desempenho das aves.

A UR apresentou-se dentro do intervalo considerado ideal para todos os aviários (entre 50 e 70%) de acordo com Tinôco (2004) e Cobb (2008). A Var apresentou-se próxima da adequada para o aviário DH (YAHAV et al., 2001; MEDEIROS et al., 2005), e as demais instalações se apresentaram aquém, dificultando a perda de calor das aves, sendo que as aves com 35 dias de idade apresenta maior dissipação de calor e a velocidade do ar é uma das principais variáveis que auxiliam no resfriamento, quando a umidade relativa e a Tbs apresentam-se fora do intervalo considerado ideal. Ainda é possível observar que a média da Var para o DWH foi a menor dentre os quatro aviários estudados.

Como a idade das aves apresentava necessidade de intensificação para o resfriamento do ambiente em função do horário mais quente, as concentrações de CO₂ e NH₃ apresentaram-se adequadas. Em relação à classificação de Warrick & Nielsen (1980), as variáveis Tbs e a UR apresentaram baixa variabilidade, enquanto que a Var para os aviários BH, DWH e SW apresentaram variabilidade moderada, já as demais apresentaram-se acima de 24%, sendo alta variabilidade.

Segundo o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, a normalidade dos dados foi observada na variável Tbs para o aviário DWH, para a UR no BH e DWH, para a Var no BH, DH e SW, para a concentração de CO₂ no DWH e para a concentração de NH₃ no aviário BH.

Tabela 21. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	26,29	26,73	24,76	27,10	0,83	3,16	-1,00	-0,71	0,01
	DH	24,75	24,94	23,14	25,70	0,69	2,78	-0,72	-0,23	0,01
	DWH	26,24	25,90	23,96	28,53	1,45	5,51	0,16	-1,22	0,09 ^{ns}
	SW	25,77	26,44	23,70	27,20	1,19	4,63	-0,63	-1,20	0,01
UR	BH	51,78	51,30	41,90	58,60	4,11	7,94	-0,33	-0,10	0,08 ^{ns}
	DH	65,64	66,20	59,10	69,50	3,11	4,73	-0,57	-0,81	0,01
	DWH	56,77	57,08	45,20	63,80	4,29	7,55	-0,30	-0,28	0,15 ^{ns}
	SW	57,22	59,08	40,40	66,10	6,37	11,13	-1,00	0,62	0,01
Var	BH	1,15	1,17	0,42	1,67	0,24	20,40	-0,53	0,83	0,15 ^{ns}
	DH	1,46	1,44	0,69	2,65	0,37	25,56	0,48	1,11	0,15 ^{ns}
	DWH	0,93	0,98	0,18	1,25	0,21	23,00	-1,19	2,04	0,01
	SW	1,11	1,09	0,75	1,37	0,15	13,83	-0,20	-0,72	0,15 ^{ns}
CO ₂	BH	30,29	0,00	0,00	150,00	57,54	189,98	1,49	0,39	0,01
	DH	36,78	0,00	0,00	150,00	60,55	164,64	1,17	-0,48	0,01
	DWH	243,00	225,00	0,00	650,00	200,50	82,48	0,38	-1,03	0,06 ^{ns}
	SW	45,40	0,00	0,00	300,00	73,30	161,26	1,51	1,72	0,01
NH ₃	BH	4,41	4,25	0,00	11,00	2,45	55,46	0,24	0,39	0,12 ^{ns}
	DH	2,65	2,50	0,00	5,00	1,22	46,04	-0,09	-0,88	0,02
	DWH	6,08	5,25	0,00	12,00	2,96	48,64	0,23	-0,76	0,01
	SW	4,49	4,00	1,00	9,00	2,18	48,65	0,44	-0,42	0,03

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 22 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 35 dias de idade das aves. Foi possível observar que as

condições externas de temperatura, entre 24,00 e 24,50 °C para os aviários avaliados auxiliaram na manutenção do ambiente interno, entretanto, os aviários BH e DWH apresentaram valores maiores, sendo necessária a intensificação do sistema de ventilação. O maior teor de umidade relativa externa observada no aviário BH (93,50%) não influenciou nas condições internas.

Tabela 22. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 35 dias de idade das aves no período do inverno às 14h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	24,00	58,50
DH	24,50	58,00
DWH	24,10	44,00
SW	24,00	58,50

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A estatística descritiva dos dados está apresentada na Tabela 23 para as variáveis registradas aos 35 dias de idade das aves, no período do verão, no horário das 9h00min. A Tbs esteve dentro do intervalo considerado ideal para Tinôco (2004) nos aviários DH, DWH e SW, enquanto que o aviário BH esteve além do valor de especificação e com valor máximo de 27,75 °C, o que é prejudicial às aves nesta fase de vida, podendo levar à morte. Levando-se em consideração a umidade relativa, o aviário BH poderia ter intensificado a nebulização com estratégia de resfriamento do ambiente, enquanto que os outros aviários estavam acima do limite considerado ideal, podendo haver condensação no período da manhã.

O aviário BH foi o que apresentou média da Var mais próxima do ideal preconizado por Yahav et al. (2001), embora também ficou aquém como os outros aviários. Quando a umidade relativa ou a Tbs estão altas, a velocidade do ar auxilia para melhorar a sensação térmica das aves, reduzindo a sensação de calor.

A média da concentração de NH₃ apresentou-se abaixo do limite máximo considerado ideal, embora os valores máximos para os aviários DH e DWH foram iguais a 11 e 14, respectivamente, ultrapassando o limite de 10 ppm preconizado por Cobb (2008). Os valores de CO₂ registrados não ultrapassaram 3000 ppm, preconizado por Cobb (2008), indicando sistema

de ventilação adequada para renovação do ar, entretanto, não suficiente para resfriamento do ambiente. A maioria das variáveis apresentou-se com valores da média e mediana próxima.

Utilizando o critério de avaliação da variabilidade dos dados pelo coeficiente de variação, foi possível observar que a Tbs e a UR apresentaram baixa variabilidade dos dados e as demais variáveis apresentaram alta variabilidade segundo classificação de Warrick & Nielsen (1980), a qual afirma que CV entre 0 e 12% são dados com baixa variabilidade, entre 12 e 24% remete variabilidade moderada e acima de 24% são dados com alta variabilidade como o caso das demais variáveis. Segundo Vanni (1998), quando o CV supera 35% indica série heterogênea e consequentemente a média tem pouco significado, o que ocorreu em relação à Var nos aviários BH e SW e para as concentrações de gases em todos os galpões, exceto para a concentração de NH_3 para o aviário DH. Através do teste de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov é possível observar a normalidade dos dados para a variável de UR nos aviários de BH, DH e DWH, para a Var no DH e DWH e concentração de amônia no DWH.

Tabela 23. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	26,78	26,77	25,71	27,75	0,65	2,44	-0,04	-1,46	0,03
	DH	25,10	25,35	23,24	26,30	0,88	3,49	-0,44	-0,98	0,04
	DWH	24,90	25,04	23,79	26,10	0,71	2,86	-0,12	-1,36	0,01
	SW	23,60	23,74	21,92	24,97	0,89	3,78	-0,38	-1,06	0,01
UR	BH	58,45	58,99	50,70	63,30	3,43	5,87	-0,77	-0,08	0,15 ^{ns}
	DH	82,43	81,45	75,10	90,50	4,28	5,20	0,29	-0,82	0,05 ^{ns}
	DWH	81,40	81,70	74,00	88,10	4,40	5,41	-0,18	-1,31	0,07 ^{ns}
	SW	79,14	78,65	75,00	84,30	3,15	3,98	0,50	-1,06	0,01
Var	BH	1,14	1,07	0,42	2,02	0,40	35,19	0,67	0,09	0,01
	DH	0,97	1,00	0,19	1,83	0,28	29,22	0,06	1,75	0,15 ^{ns}
	DWH	0,57	0,61	0,15	0,94	0,17	30,12	-0,41	-0,20	0,15 ^{ns}
	SW	0,73	0,77	0,05	1,50	0,27	37,65	-0,20	0,26	0,03
CO ₂	BH	21,63	0,00	0,00	150,00	49,45	228,58	2,01	2,42	0,01
	DH	97,40	75,00	0,00	400,00	113,80	116,94	0,91	-0,19	0,01
	DWH	344,00	300,00	0,00	900,00	255,30	74,22	0,49	-0,68	0,01
	SW	60,60	0,00	0,00	300,00	96,90	159,91	1,45	0,92	0,01
NH ₃	BH	3,07	2,75	1,00	6,00	1,49	48,53	0,60	-0,60	0,01
	DH	6,37	6,00	4,00	11,00	1,56	24,43	0,78	0,94	0,01
	DWH	8,16	8,00	3,00	14,00	2,94	36,07	0,23	-0,86	0,15 ^{ns}
	SW	4,32	4,00	1,00	7,00	1,60	37,07	0,08	-0,72	0,01

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 24 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 35 dias de idade das aves. Foi possível observar que as condições externas de temperatura, entre 21,20 e 24,20 °C para os aviários avaliados auxiliaram na manutenção do ambiente interno, entretanto, os aviários BH e DH apresentaram valores maiores, sendo necessária a intensificação do sistema de ventilação.

Tabela 24. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 35 dias de idade das aves no período do verão às 9h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	22,85	69,00
DH	24,20	67,00
DWH	21,20	78,00
SW	22,40	73,00

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A média da variável ambiental Tbs (Tabela 25) esteve além das condições preconizadas por Nicholson et al. (2004) e Tinôco (2004) para os aviários BH e SW, devendo ser entre 15 e 26 °C, sendo o horário das 14h00min e período do verão os mais críticos para aves na fase final de produção. Uma vez que a umidade relativa do ar esteja entre 39,80 e 58,50% no BH, se intensificasse o funcionamento dos nebulizadores no interior do aviário e na entrada de ar poderia melhorar a qualidade do ambiente térmico. Os outros aviários já possuíam níveis acima do preconizado por Medeiros et al. (2005) e por Cobb (2008).

A Var esteve próximo aos níveis considerados ideais para o aviário BH e DH segundo Medeiros et al. (2005), enquanto a Var deveria aumentar em SW para diminuir a sensação térmica das aves com média de Tbs igual a 27,39 °C.

Em relação às concentrações de CO₂ e NH₃, todos os aviários estavam abaixo do limite máximo considerado ideal pelo Globalgap (2012), apenas o aviário DWH apresentou valor máximo de NH₃ igual à 11 ppm.

Utilizando o critério de avaliação da variabilidade dos dados pelo coeficiente de variação, foi possível observar que a Tbs e a UR apresentaram baixa variabilidade dos dados e as demais variáveis apresentaram alta variabilidade segundo classificação de Warrick e Nielsen (1980).

A normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov o qual sugere que as variáveis que apresentaram normalidade foram a Tbs para o aviário DWH, a UR para DH e DWH, Var para BH, DWH e SW, NH₃ para DWH e SW.

Tabela 25. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	29,00	28,46	26,20	31,96	1,70	5,84	0,40	-1,13	0,01
	DH	24,35	24,28	23,00	26,18	0,86	3,52	0,30	-1,02	0,04
	DWH	24,11	24,15	23,17	25,08	0,61	2,54	-0,01	-1,38	0,07 ^{ns}
	SW	27,39	27,27	25,34	28,97	1,02	3,74	0,05	-0,74	0,04
UR	BH	52,15	52,85	39,80	58,50	3,74	7,18	-1,31	2,54	0,01
	DH	77,46	78,16	62,40	89,90	7,99	10,31	0,05	-1,11	0,14 ^{ns}
	DWH	81,59	82,05	75,00	88,30	3,93	4,82	0,09	-0,83	0,15 ^{ns}
	SW	80,97	79,85	76,90	88,20	3,30	4,07	0,58	-0,81	0,01
Var	BH	1,15	1,09	0,34	2,03	0,34	30,09	0,07	-0,04	0,15 ^{ns}
	DH	1,29	1,20	0,60	2,20	0,36	27,76	0,40	-0,45	0,01
	DWH	0,81	0,82	0,17	1,29	0,21	25,57	-0,24	0,78	0,15 ^{ns}
	SW	0,91	0,87	0,42	1,64	0,26	29,15	0,46	0,22	0,15 ^{ns}
CO ₂	BH	6,49	0,00	0,00	150,00	27,51	423,82	4,36	18,87	0,01
	DH	62,74	18,75	0,00	150,00	67,95	108,30	0,31	-1,78	0,01
	DWH	198,30	150,00	0,00	400,00	149,50	75,37	0,05	-1,43	0,01
	SW	28,12	0,00	0,00	300,00	70,01	248,92	2,65	6,51	0,01
NH ₃	BH	2,45	3,00	0,00	5,00	1,59	64,77	-0,10	-1,10	0,01
	DH	6,73	7,00	4,00	9,00	1,22	18,16	-0,51	-0,28	0,01
	DWH	6,21	6,00	1,00	11,00	2,66	42,76	0,12	-0,62	0,15 ^{ns}
	SW	4,05	4,00	1,00	6,00	1,28	31,63	-0,25	-0,71	0,07 ^{ns}

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 26 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 35 dias de idade das aves. Foi possível observar que as condições externas de temperatura, entre 23,00 e 29,60 °C, não influenciaram nas condições internas, entretanto, o aviário BH apresentou Tbs interna maior que a externa indicando acréscimo calórico por meio das aves e da radiação solar, a maior Tbs externa foi para o aviário DH o qual reduziu a Tbs interno por meio do sistema de resfriamento. A UR externa apresentou

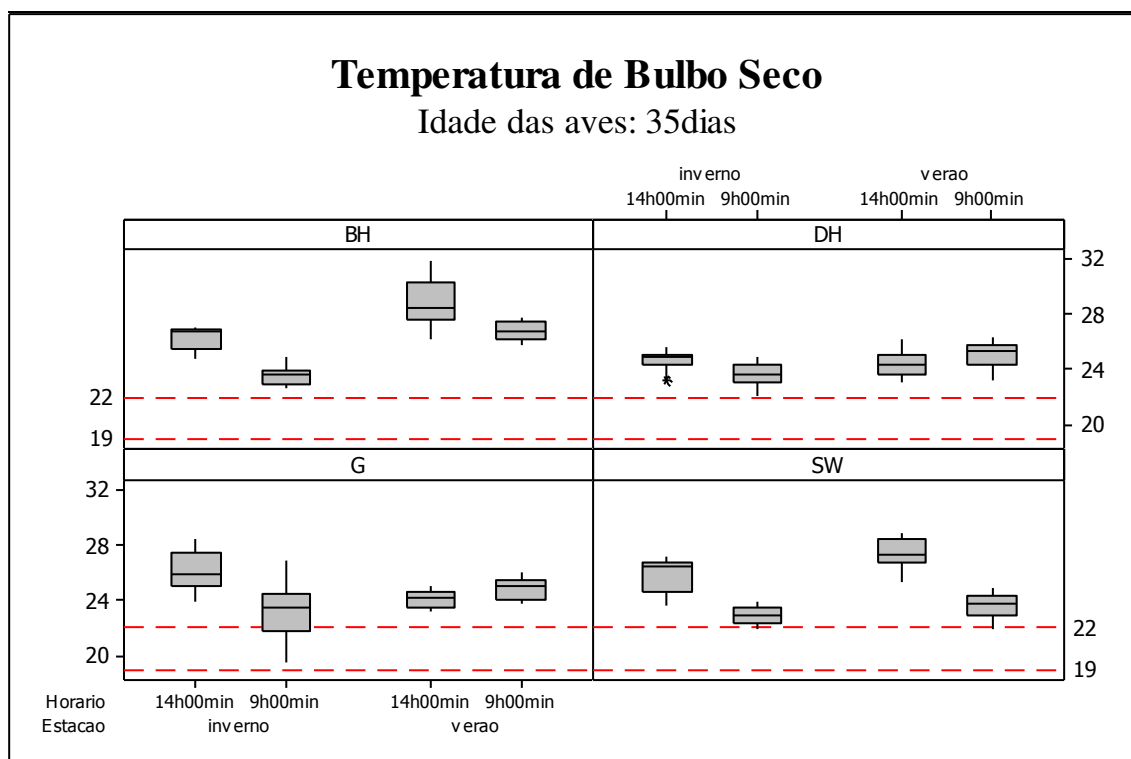
menor teor no ambiente externo comparado com o ambiente interno, sugerindo ganho de umidade através dos painéis evaporativos e pelas aves através da respiração.

Tabela 26. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 35 dias de idade das aves no período do verão às 14h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	27,58	55,36
DH	29,60	46,00
DWH	23,00	71,50
SW	26,90	59,00

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

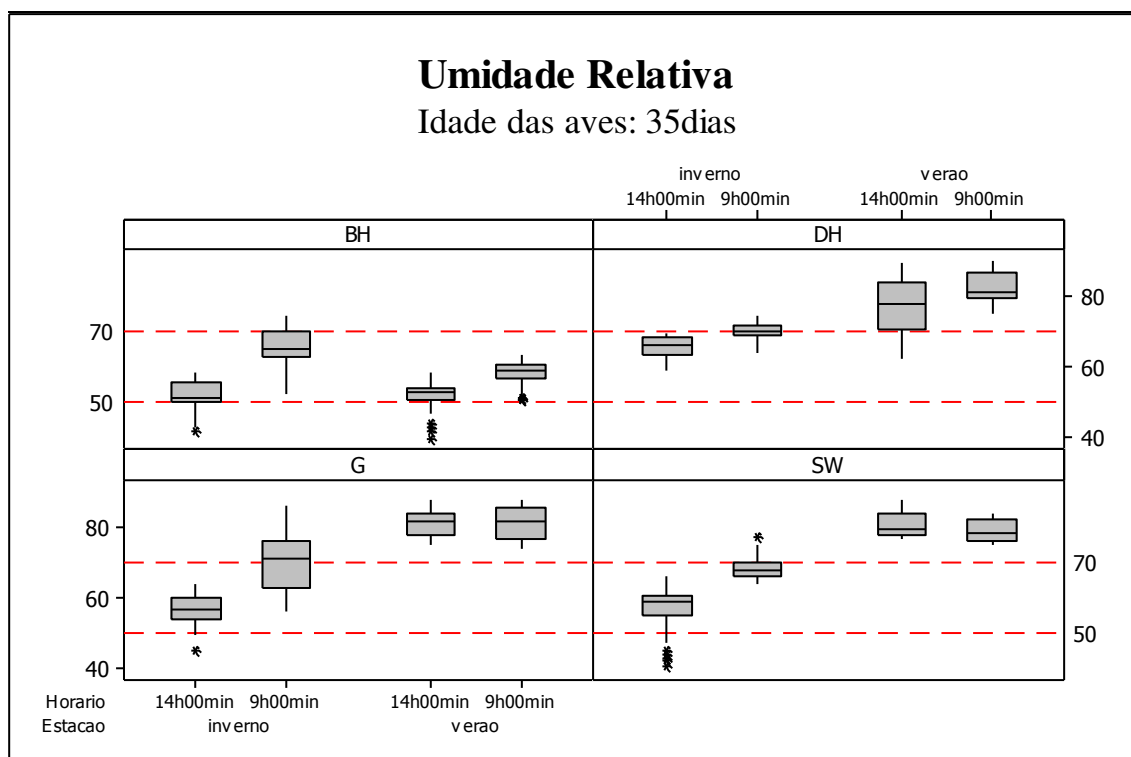
A Figura 43 apresenta o gráfico de *boxplot* para a temperatura de bulbo seco para aves aos 35 dias de idade. No qual é possível observar que os aviários BH e DWH apresentaram maior variabilidade às 14h00min no verão e às 9h00min no inverno, respectivamente. Também ocorreu maior variabilidade às 14h00min no período do inverno para os aviários DWH e SW. Houve menor variabilidade para BH e SW às 9h00min no inverno. As Tbs observadas no período da manhã apresentam valores menores comparados com o horário da tarde para todos os aviários com exceção do aviário DWH e DH no período do verão, indicando que a intensificação do sistema de ventilação foi capaz de auxiliar na redução do calor no interior dos aviários. Nos períodos de inverno e verão, os dados da Tbs mensurados nos quatro aviários não estiveram em torno de 22 °C (P-valor = 0,000) com tendência de superar este valor.



BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 43. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental - temperatura de bulbo seco [°C] dos diferentes aviários, aos 35 dias de idade das aves.

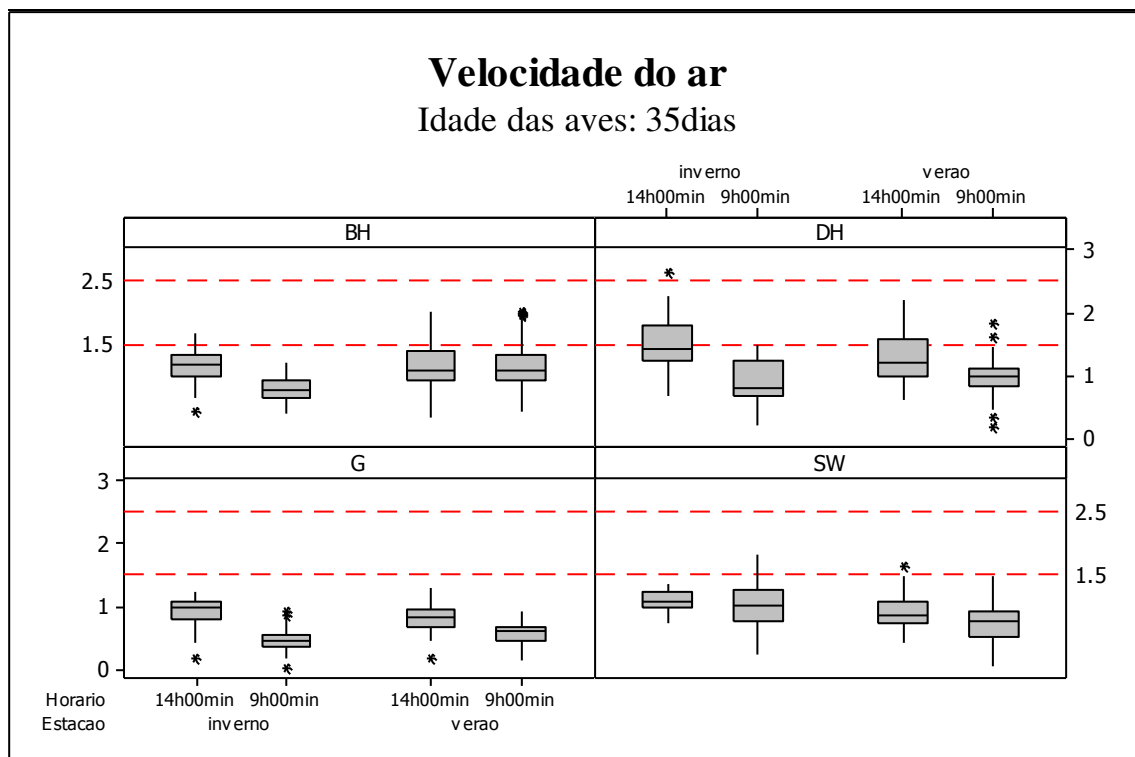
Os valores da UR (Figura 44) apresentaram maior variação deste atributo para o aviário DWH às 9h00min no período do inverno, resultado semelhante ao da Tbs e, para o aviário DH às 14h00min no período do verão, enquanto que a menor variabilidade foi observada às 9h00min no período do inverno para os aviários DH e SW. Como o verão tende a ser mais úmido no clima subtropical, é possível observar maiores valores no verão, ou seja, maiores que 70%, para os aviários DH, DWH e SW. No período do inverno, os dados da UR não estiveram em torno de 60% com tendência de superar este valor para os aviários DH e SW (P-valor = 0,000) e DWH (P-valor = 0,006), enquanto que o aviário BH (P-valor = 0,078) esteve em torno de 60%. No período do verão, a UR não esteve em torno de 60% com tendência de estar aquém para o aviário BH (P-valor = 0,000), enquanto que os demais aviários não estiveram em torno de 60% com tendência de superação deste valor (P-valor = 0,000).



BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 44. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental - umidade relativa [%] dos diferentes aviários, aos 35 dias de idade das aves.

A velocidade do ar está representada no gráfico *boxplot* (Figura 45). É possível observar que a maior variabilidade foi encontrada no aviário DH, em relação aos outros. A intensificação do sistema de ventilação no horário das 14h00min influenciou na variabilidade, aumentando-a. Para o aviário de DWH foi possível observar que os valores da Var estavam posicionados abaixo das linhas vermelha, intervalo este considerado ideal, indicando necessidade de intensificação do sistema de ventilação no auxílio à perda de calor por meios convectivos das aves. A Var não esteve em torno do valor médio ($2,0 \text{ m s}^{-1}$) recomendado pela literatura (YAHAV et al., 2001; COBB, 2008), com tendência de se manter aquém do recomendado (P-valor = 0,000). O manejo do sistema de ventilação das instalações estudadas não foi capaz de manter os valores da velocidade do ar no intervalo considerado ideal pela literatura, sugerindo intensificação do mesmo aos 35 dias de idade das aves.

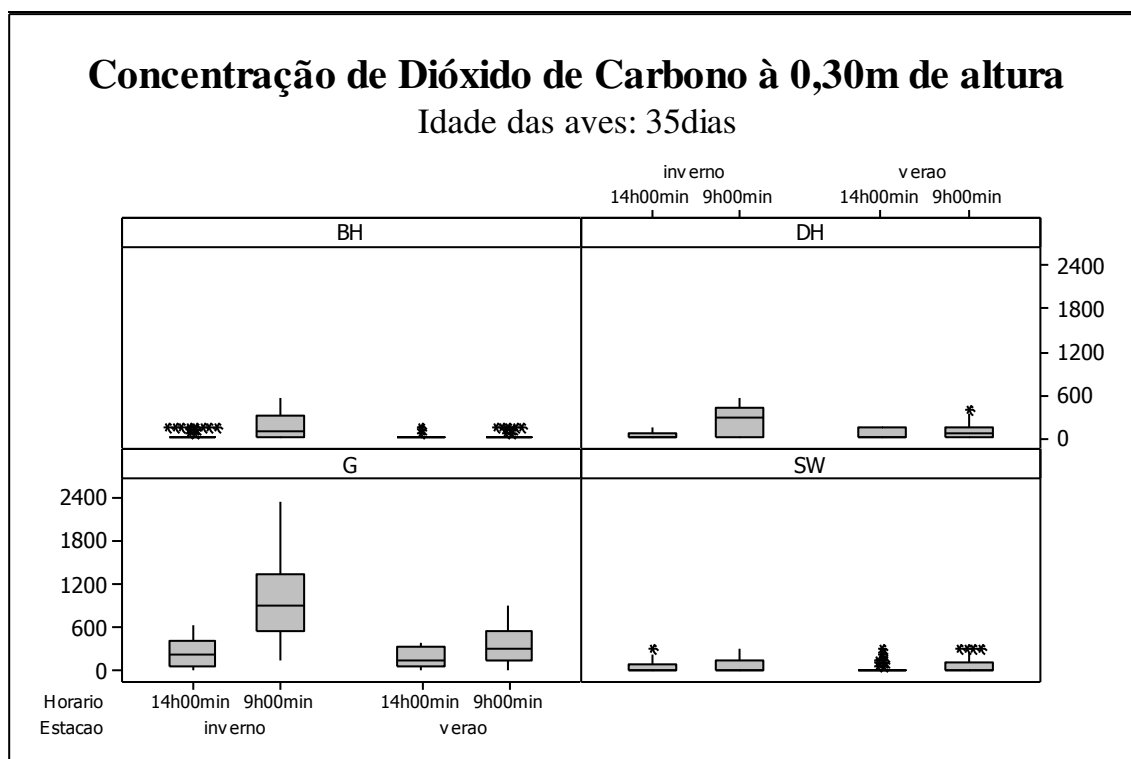


BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 45. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental - velocidade do ar [m s^{-1}] dos diferentes aviários, aos 35 dias de idade das aves.

A Figura 46 apresenta a variabilidade por meio dos gráficos de *boxplot* do CO_2 o qual apresenta maior variabilidade para o aviário Gigante. Enquanto que a variabilidade maior ocorreu às 9h00min no período do inverno para o Dark House e para o BH.

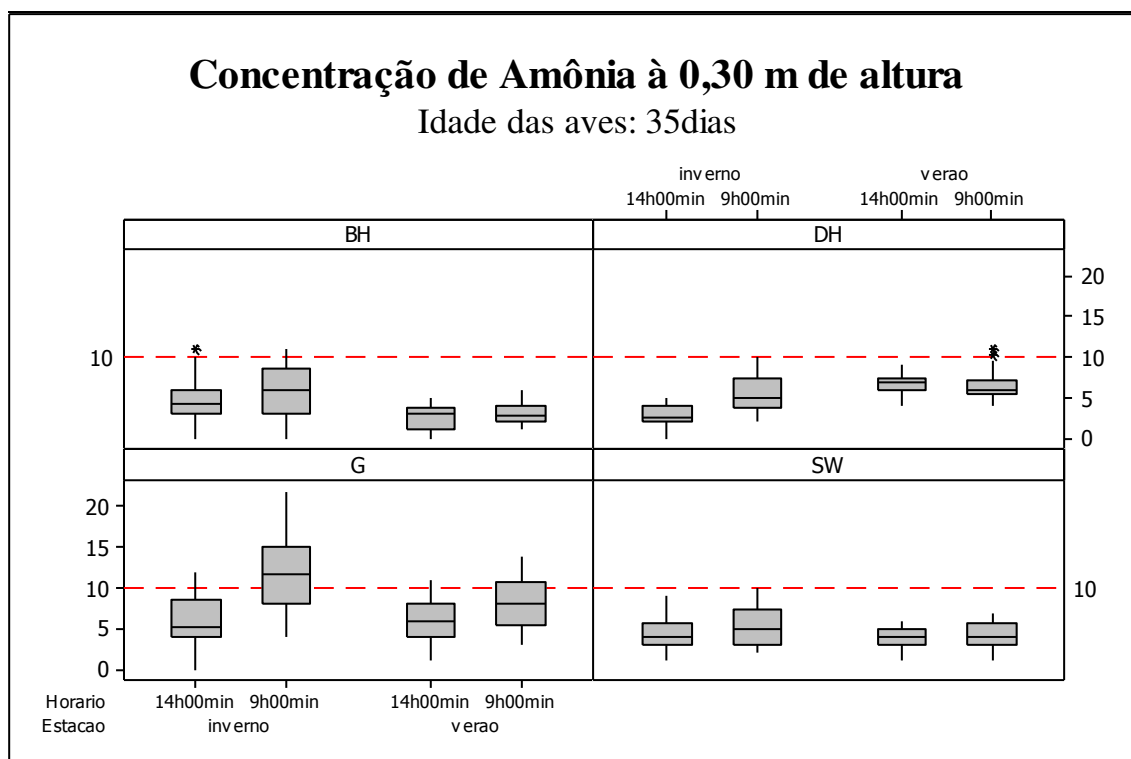
A concentração de CO_2 para os aviários avaliados esteve aquém do valor máximo de especificação (3000 ppm) segundo a literatura com tendência de não ultrapassar o limite de máximo considerado ideal para a saúde do lote de frango de corte (P-valor = 1,000) para o período de verão e inverno.



BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 46. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental – concentração de dióxido de carbono [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 35 dias de idade das aves.

A concentração de NH_3 (Figura 47) apresentou maior variabilidade para a estação de inverno às 9h00min nos aviários BH e DWH, enquanto, a menor variabilidade foi observada no aviário DH no período do verão às 14h00min. Com exceção do aviário DWH, todos os outros se apresentaram dentro do limite considerado ideal para a qualidade do ar e saúde das aves. A concentração de NH_3 esteve aquém do valor máximo de especificação (10 ppm) segundo a literatura com tendência de não ultrapassar o limite de segurança (P-valor = 1,000) para o período de verão e inverno nos aviários avaliados, sendo o aviário DWH com P-valor = 0,992.



BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; G = DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

Figura 47. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental – concentração de amônia [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 35 dias de idade das aves.

5.1.4 Dados correspondentes aos 42 dias de idade das aves

A Tabela 27 apresenta os resultados da avaliação da estatística descritiva das variáveis registradas quando as aves alcançaram 42 dias de idade no período de inverno às 9h00min. A Tbs esteve no intervalo considerado ideal para as aves em todos os galpões de frango de corte segundo a literatura o qual preconiza entre 21 e 22 °C (BARNWELL & ROSSI, 2003; NICHOLSON et al., 2004).

A UR apresentou-se além do intervalo considerado adequado à produção das aves por Yahav et al. (1995) e Cobb (2008), com exceção do aviário DWH, embora os níveis de UR estejam acima do adequado, a Tbs estava adequada, não oferecendo tanto prejuízo às aves. A capacidade das aves em suportar o calor é inversamente proporcional ao teor de umidade relativa do ar e influencia negativamente a conversão alimentar das aves, influenciando na manutenção da sua homeotermia (OLIVEIRA et al., 2006).

A Var esteve aquém do intervalo considerado ideal para aves com 42 dias de idade, o qual preconiza entre 1,5 e 2,0 m s⁻¹ (YAHAV et al., 2001). A concentração de CO₂ se manteve em níveis adequados para a qualidade do ar em que as aves estão inseridos, ou seja, abaixo de 3000 ppm (GLOBALGAP, 2012), enquanto a concentração de NH₃ se manteve adequada para todos os aviários BH, DH e SW, sendo que DWH apresentou valor médio de 13 ppm, indicando a necessidade de intensificação do sistema de ventilação para renovação do ar uma vez que a cama de frango é reutilizada e o aviário passou a noite toda em condições de sistema de ventilação menores.

Segundo classificação do coeficiente de variação, as variáveis de Tbs e UR apresentaram com baixa variabilidade e as demais variáveis registradas com alta variabilidade. A normalidade dos dados esteve presente para a variável de Tbs e concentração de NH₃ no aviário DH, para a UR no DWH e SW, para a Var nos aviários DH e SW e para a concentração de CO₂ no aviário DWH.

Tabela 27. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	20,55	20,41	19,23	21,76	0,83	4,05	0,09	-1,53	0,01
	DH	22,86	22,96	20,78	24,24	0,96	4,21	-0,57	-0,50	0,11 ^{ns}
	DWH	21,98	22,25	17,95	24,75	2,31	10,49	-0,27	-1,42	0,01
	SW	22,96	23,02	21,98	23,80	0,52	2,28	-0,46	-0,55	0,01
UR	BH	81,37	80,30	76,20	88,20	4,30	5,29	0,35	-1,53	0,01
	DH	76,43	75,91	72,90	81,10	2,62	3,43	0,17	-1,46	0,01
	DWH	69,03	69,24	57,00	79,20	6,02	8,72	-0,25	-0,93	0,15 ^{ns}
	SW	74,81	74,60	66,70	83,40	4,55	6,08	0,06	-1,00	0,15 ^{ns}
Var	BH	0,31	0,23	0,05	1,16	0,23	74,01	1,88	4,04	0,01
	DH	0,96	0,92	0,21	1,80	0,33	34,58	0,25	-0,12	0,15 ^{ns}
	DWH	0,66	0,72	0,32	0,97	0,17	25,14	-0,61	-0,56	0,01
	SW	0,63	0,58	0,30	1,12	0,21	33,23	0,47	-0,58	0,11 ^{ns}
CO ₂	BH	263,50	200,00	0,00	650,00	209,80	79,65	0,30	-1,29	0,01
	DH	210,60	150,00	0,00	650,00	169,60	80,52	0,36	-0,77	0,01
	DWH	614,40	662,50	0,00	1250,00	382,20	62,21	-0,01	-1,02	0,15 ^{ns}
	SW	168,80	150,00	0,00	400,00	141,70	83,97	0,23	-1,29	0,01
NH ₃	BH	5,42	5,50	0,00	9,00	2,66	49,00	-0,17	-1,24	0,01
	DH	7,07	6,75	2,00	13,00	2,62	37,08	0,21	-0,45	0,15 ^{ns}
	DWH	13,08	15,13	0,00	20,00	6,14	46,96	-0,62	-0,91	0,01
	SW	9,23	9,00	4,00	14,00	2,96	32,10	0,04	-1,41	0,02

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 28 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 42 dias de idade das aves. Foi possível observar que as condições externas de temperatura, entre 15,70 e 17,85 °C, influenciaram positivamente nas condições internas. A UR externa acima de 75,00% influenciou nas condições internas, o qual os aviários BH e DH apresentaram maior teor de umidade, enquanto que a UR externa para o DH esteve igual à 92,50%.

Tabela 28. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 42 dias de idade das aves no período do inverno às 9h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	17,65	88,35
DH	17,85	92,50
DWH	15,70	75,00
SW	17,45	89,00

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 29 apresenta o resultado da análise da estatística descritiva das variáveis ambientais e aéreas registradas no período do inverno no horário das 14h00min, aos 42 dias de idade das aves. A Tbs esteve próximo ao intervalo considerado ideal pelas recomendações da linhagem (Cobb, 2008), ou seja, entre 18 e 21 °C para os aviários BH, DWH e SW, enquanto todos os aviários estiveram no intervalo considerado ideal por Tinôco (2004) e por Oliveira et al. (2006), no intuito de obter melhores resultados zootécnicos. A UR esteve dentro do intervalo considerado ideal para todos os aviários estudados, ou seja, entre 50 e 70%, segundo Tinôco (2004) e Cobb (2008).

A Var esteve aquém dos valores recomendados pela literatura a fim de obter a melhor troca térmica entre o frango de corte e o ambiente (YAHAV et al., 2001; COBB, 2008), sendo que o aviário DH apresentou o maior valor médio para a Var.

A média da concentração de NH₃ apresentou-se abaixo do limite máximo considerado ideal, embora os valores máximos para os aviários BH, DWH e SW foram iguais a 15, 14 e 17 ppm, respectivamente, ultrapassando o limite de 10 ppm preconizado por Cobb (2008). Já os valores de CO₂ registrados não ultrapassaram 3000 ppm, preconizado por Cobb (2008), indicando sistema de ventilação adequada para renovação do ar, embora a Var esteja abaixo do recomendado.

Em relação à classificação de Warrick & Nielsen (1980), as variáveis Tbs e a UR apresentaram baixa variabilidade, enquanto, que as demais variáveis (Var, concentração de CO₂ e NH₃) apresentaram CV acima de 24 %, sendo de alta variabilidade.

Segundo o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, a normalidade dos dados foi observada na variável Tbs para o aviário BH e DWH, para a UR nos aviários BH, DWH e SW,

para a Var no BH, DWH e SW, para a concentração de CO₂ no DWH e para a concentração de NH₃ nos aviários DH e DWH.

Tabela 29. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	22,79	22,64	21,81	24,35	0,76	3,31	0,71	-0,45	0,10 ^{ns}
	DH	23,34	23,60	21,70	24,50	0,83	3,57	-0,50	-0,99	0,01
	G	22,86	22,85	21,32	24,36	0,56	2,47	-0,30	0,63	0,15 ^{ns}
	SW	22,87	23,12	21,32	24,62	1,02	4,47	-0,01	-1,33	0,04
UR	BH	61,46	61,43	57,20	66,30	2,25	3,66	0,03	-0,76	0,15 ^{ns}
	DH	68,76	70,98	53,20	76,90	6,40	9,31	-0,89	0,14	0,01
	G	63,05	62,61	49,70	73,70	6,57	10,42	0,05	-1,07	0,15 ^{ns}
	SW	69,61	70,44	62,00	77,70	4,36	6,26	-0,05	-1,20	0,15 ^{ns}
Var	BH	0,73	0,73	0,20	1,26	0,20	27,56	-0,17	0,37	0,15 ^{ns}
	DH	1,30	1,13	0,82	2,22	0,41	31,25	0,76	-0,67	0,01
	G	0,83	0,84	0,27	1,33	0,25	30,56	-0,08	-0,69	0,15 ^{ns}
	SW	0,54	0,53	0,12	0,99	0,21	38,86	0,18	-0,55	0,15 ^{ns}
CO ₂	BH	116,80	93,80	0,00	400,00	129,40	110,75	0,86	-0,41	0,01
	DH	87,30	56,30	0,00	300,00	97,60	111,85	0,70	-0,58	0,01
	G	349,50	387,50	0,00	650,00	207,10	59,26	-0,25	-1,06	0,15 ^{ns}
	SW	241,60	225,00	0,00	650,00	192,00	79,46	0,41	-0,84	0,01
NH ₃	BH	7,38	6,75	3,00	15,00	2,89	39,22	0,79	0,00	0,01
	DH	5,03	5,00	1,00	9,00	2,15	42,84	0,08	-0,77	0,15 ^{ns}
	G	8,67	9,00	2,00	14,00	3,45	39,74	-0,04	-1,20	0,13 ^{ns}
	SW	9,72	8,63	2,00	17,00	4,07	41,88	0,36	-0,92	0,01

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 30 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 42 dias de idade das aves. Foi possível observar que as condições externas de temperatura, entre 19,90 e 28,00 °C, auxiliaram para evitar o ganho

calórico do ambiente externo no ambiente interno para os aviários BH, DH e SW, sendo que a maior Tbs externa observada no aviário DWH não influenciou na ambiência térmica interna, o qual o sistema de ventilação e resfriamento proporcionou um ambiente interno com Tbs entre 21,32 e 24,36 °C, em detrimento da UR externa estar com teor de 44,00%, auxiliando no sistema de resfriamento por painel evaporativo.

Tabela 30. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 42 dias de idade das aves no período do inverno às 14h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	19,97	76,44
DH	23,20	70,00
DWH	28,00	44,00
SW	19,90	76,50

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 31 apresenta os resultados da análise estatística descritiva das variáveis ambientais e aéreas registradas no período do verão no horário das 9h00min, aos 42 dias de idade das aves. A Tbs não esteve próximo ao intervalo considerado ideal pelas recomendações da linhagem (COBB, 2008), ou seja, entre 18 e 21 °C para os aviários BH, DWH e SW, já os aviários DH, DWH e SW estiveram no intervalo considerado ideal por Tinôco (2004) e por Oliveira et al. (2006), no intuito de obter melhores resultados zootécnicos. A UR esteve dentro do intervalo considerado ideal para o aviário BH somente, ou seja, entre 50 e 70%, segundo Tinôco (2004) e Cobb (2008), enquanto os outros aviários apresentaram teor de umidade acima de 79%.

A Var esteve aquém dos valores recomendados pela literatura a fim de obter a melhor troca térmica entre o frango de corte e o ambiente (YAHAV et al., 2001; COBB, 2008) nos aviários BH, DH e SW, enquanto, DWH esteve dentro do intervalo considerado ideal por Yahav et al. (2001) e Medeiros et al. (2005).

A média da concentração de NH₃ apresentou-se abaixo do limite máximo considerado ideal, embora o valor máximo para o aviário DH foi de 11 ppm, ultrapassando o limite de 10 ppm preconizado por Cobb (2008). Os valores de CO₂ registrados não ultrapassaram 3000 ppm,

preconizado por Cobb (2008), indicando sistema de ventilação adequada para renovação do ar, embora a Var esteja abaixo do recomendado.

Em relação à classificação de Warrick & Nielsen (1980), as variáveis Tbs e a UR apresentaram baixa variabilidade, a Var para os aviários DH e SW apresentaram variabilidade moderada, enquanto a variável da Var para os aviários BH e DWH, e as concentrações de CO₂ e NH₃ para os quatros aviários apresentaram CV acima de 24%, sendo de alta variabilidade.

Segundo o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, a normalidade dos dados foi observada na variável Tbs para o aviário BH, DH e SW, para a UR no aviário SW, para a Var no BH e SW e para a concentração de NH₃ nos aviários DH e SW.

Tabela 31. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	27,48	27,51	25,98	28,60	0,67	2,44	-0,35	-0,60	0,15 ^{ns}
	DH	22,79	22,86	20,92	24,67	1,04	4,55	-0,21	-0,90	0,15 ^{ns}
	DWH	25,04	25,00	24,14	26,28	0,71	2,84	0,31	-1,30	0,01
	SW	22,58	22,70	21,14	23,88	0,80	3,54	-0,17	-0,83	0,15 ^{ns}
UR	BH	60,91	60,23	55,00	64,70	2,23	3,67	0,27	-0,41	0,01
	DH	79,97	80,83	68,60	84,40	3,72	4,65	-1,18	0,93	0,01
	DWH	82,40	81,85	75,30	90,70	5,49	6,66	0,21	-1,56	0,01
	SW	89,74	89,78	79,80	95,00	3,68	4,10	-0,44	-0,35	0,06 ^{ns}
Var	BH	1,21	1,17	0,26	2,28	0,44	36,46	0,49	0,27	0,15 ^{ns}
	DH	0,99	0,95	0,53	1,46	0,23	23,19	0,28	-0,94	0,03
	DWH	1,55	1,32	0,64	2,66	0,66	42,72	0,59	-1,15	0,01
	SW	1,18	1,17	0,62	1,78	0,22	18,89	0,09	0,24	0,15 ^{ns}
CO ₂	BH	12,98	0,00	0,00	150,00	37,78	291,06	2,83	6,90	0,01
	DH	158,70	150,00	0,00	400,00	126,30	79,58	0,07	-1,31	0,01
	DWH	113,90	18,80	0,00	400,00	134,30	117,85	0,70	-0,96	0,01
	SW	45,40	0,00	0,00	300,00	79,10	174,01	1,60	1,68	0,01
NH ₃	BH	3,19	2,75	1,00	8,00	1,68	52,78	1,06	0,82	0,01
	DH	7,53	7,88	3,00	11,00	2,38	31,64	-0,17	-1,17	0,15 ^{ns}
	DWH	3,04	3,00	2,00	5,00	0,94	30,77	0,24	-1,31	0,01
	SW	4,47	4,00	0,00	9,00	2,51	56,10	0,30	-0,84	0,09 ^{ns}

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 32 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 42 dias de idade das aves. Foi possível observar que as condições externas de temperatura, entre 21,20 e 25,00 °C, auxiliaram para evitar o ganho calórico do ambiente externo no ambiente interno nos aviários estudados, sendo que a maior Tbs externa observada no aviário DWH não influenciou na ambiência térmica interna, o qual o sistema de ventilação e resfriamento proporcionou um ambiente interno com Tbs de 25,04 °C. A

UR externa de 90,00% para o aviário DH influenciou nas condições interna, alcançando valores de UR entre 68,60 e 84,40 %.

Tabela 32. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 42 dias de idade das aves no período do verão às 9h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	23,53	73,79
DH	21,20	90,00
DWH	25,00	66,00
SW	21,50	84,00

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 33 apresenta o resultado da análise estatística descritiva para aves com 42 dias de idade, no período do verão, às 14h00min, sendo estas condições críticas para a criação de aves. O valor médio da Tbs apresentou-se próximo às condições consideradas adequadas pela literatura para os aviários DH e SW, segundo Baêta & Souza (1997) e Tinôco (2004), sendo que o aviário BH esteve com a Tbs além das condições ideais com valor máximo de 30,46 °C, superando as condições externas, este resultado remete que o sistema de resfriamento não foi capaz de retirar o calor produzido pelas aves e pela contribuição da radiação solar.

Em relação à UR, enquanto que o aviário BH está aquém do nível considerado ideal, com risco de formação de poeira, indica que a nebulização seria uma opção válida nestas condições, os demais aviários estão além dos níveis considerados adequados para não ocorrer estresse térmico (MEDEIROS et al., 2005). A Var esteve mais próximo do adequado para o aviário DWH, enquanto que os outros apontam a necessidade de intensificar o sistema de ventilação. Como o sistema de ventilação foi intensificado para amenizar as condições de estresse térmico, a concentração de gases esteve em níveis adequados.

A variabilidade dos dados apresentou-se baixa para as variáveis de Tbs e UR, enquanto para as demais apresentou alta variabilidade. A normalidade dos dados esteve presente na variável Tbs para o aviário DH, para UR nos aviários DH, DWH e SW, para a Var nos aviários BH, DH e DWH e para a concentração de NH₃ para os aviários BH, DH e SW. A média e mediana estiveram com valores próximos.

Tabela 33. Resultado da análise estatística das variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Ass	Curtose	d
Tbs	BH	29,98	30,03	28,95	30,46	0,39	1,32	-0,77	-0,09	0,04
	DH	24,25	24,29	22,85	25,55	0,71	2,91	-0,01	-0,95	0,07 ^{ns}
	DWH	27,05	27,23	25,96	28,40	0,65	2,41	0,04	-1,04	0,01
	SW	25,35	24,98	24,02	27,50	1,09	4,31	0,88	-0,57	0,01
UR	BH	45,12	44,69	33,60	50,40	4,78	10,59	-0,68	-0,58	0,01
	DH	81,24	80,70	68,50	87,90	4,81	5,92	-0,41	-0,37	0,15 ^{ns}
	DWH	77,58	77,93	71,30	82,70	2,99	3,85	-0,10	-1,08	0,11 ^{ns}
	SW	90,04	89,96	85,30	94,90	2,09	2,32	-0,01	0,27	0,15 ^{ns}
Var	BH	1,32	1,34	0,34	2,21	0,43	32,63	-0,45	-0,26	0,15 ^{ns}
	DH	1,24	1,21	0,34	2,11	0,38	30,28	-0,24	0,64	0,05 ^{ns}
	DWH	1,46	1,44	0,75	2,32	0,36	24,58	0,01	-0,13	0,15 ^{ns}
	SW	1,23	1,15	0,68	2,10	0,33	26,50	0,96	0,47	0,01
CO ₂	BH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	*	*	*	-
	DH	36,78	0,00	0,00	150,00	57,28	155,74	1,13	-0,41	0,01
	DWH	45,43	0,00	0,00	150,00	65,31	143,74	0,84	-1,19	0,01
	SW	23,80	0,00	0,00	150,00	53,57	225,08	1,90	1,79	0,01
NH ₃	BH	2,82	3,00	0,00	6,00	1,43	50,90	-0,15	-0,41	0,15 ^{ns}
	DH	5,03	5,00	2,00	9,00	1,68	33,32	0,12	-0,20	0,15 ^{ns}
	DWH	3,19	3,50	1,00	5,00	1,09	34,24	-0,08	-1,11	0,01
	SW	4,73	4,50	0,00	10,00	2,73	57,69	0,51	-0,49	0,09 ^{ns}

Mín = valor mínimo; Máx = valor máximo; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de Variação; Ass = Assimetria; d = teste de normalidade por Kolmogorov-Smirnov; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 34 apresenta condições externas de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa para os diferentes aviários, aos 42 dias de idade das aves. É possível observar que as condições externas de temperatura, entre 26,30 e 28,95 °C, influenciaram nas condições do ambiente interno. A maior Tbs externa observada no aviário BH influenciou na ambiência térmica interna, o qual apresentou valor máximo de Tbs de 30,46 °C. A UR externa, com

valore entre 49,00 e 64,00%, auxiliaram na utilização do painel evaporativo, o que aumentou o teor de UR interno dos galpões de frango de corte.

Tabela 34. Condições de temperatura e umidade externas aos aviários estudados, aos 42 dias de idade das aves no período do verão às 14h00min.

	Tbs_externa	UR_externa
BH	28,95	49,00
DH	26,30	64,00
DWH	28,00	56,00
SW	26,30	63,00

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Figura 48 apresenta o gráfico de *boxplot* para a temperatura de bulbo seco para aves aos 42 dias de idade. Foi possível observar que a variabilidade da Tbs foi menor para o aviário BH às 9h00min e 14h00min no período de verão, resultado semelhante foi observado no galpão DWH às 14h00min no inverno e às 9h00min no inverno no SW. Enquanto, que o aviário DWH às 9h00min no inverno apresentou maior variabilidade, e às 14h00min apresentou outliers. É possível observar que aos 42 dias de idade a maioria dos gráficos estiveram posicionados acima do intervalo considerado ideal segundo Nicholson et al. (2004) e Cobb (2008), com exceção das 9h00min no inverno para o aviário DWH e BH. Também é possível observar que a temperatura externa influenciou mais o aviário BH, em relação aos outros aviários. Nos períodos de inverno e verão, os dados da Tbs mensurados nos quatro aviários não estiveram em torno de 21 °C (P-valor = 0,000) com tendência de superar este valor.

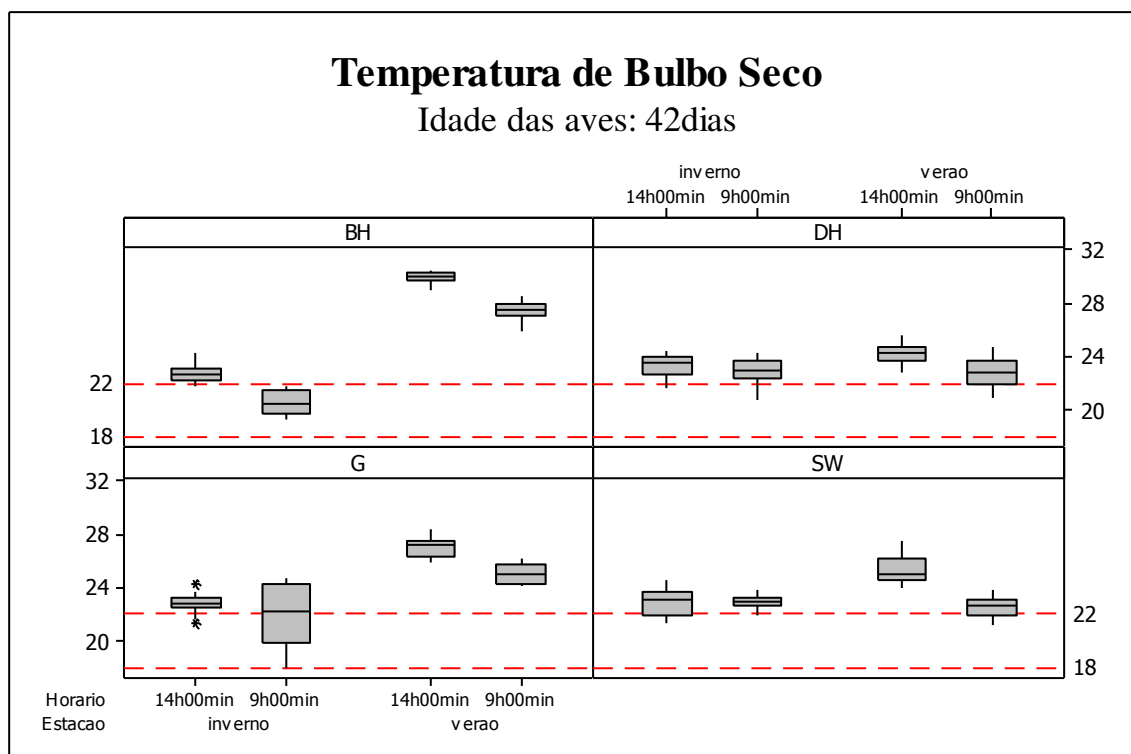
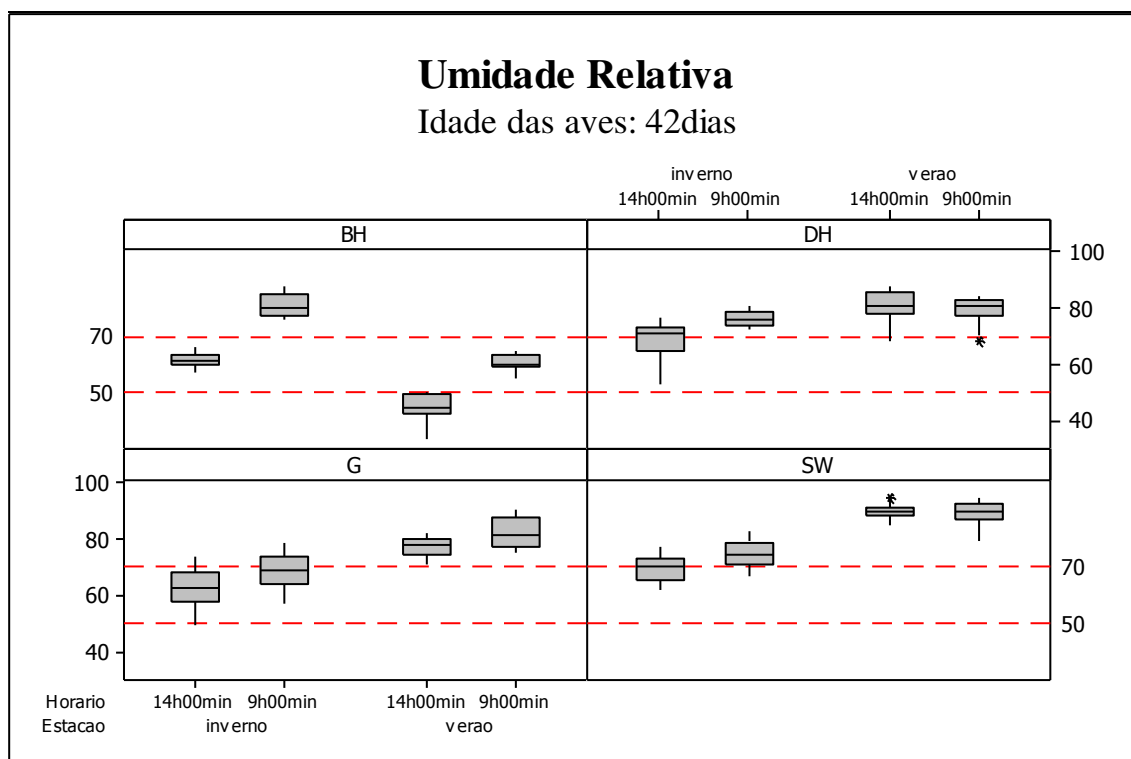


Figura 48. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental - temperatura de bulbo seco [°C] dos diferentes aviários, aos 42 dias de idade das aves.

Em relação à variabilidade da UR (Figura 49), é possível observar que a variação foi maior para o aviário DWH no período do inverno e às 9h00min no verão. Bem como às 14h00min no inverno para o galpão DH. Enquanto que a menor variabilidade foi observada às 14h00min no verão para o galpão BH, às 9h00min no inverno para o aviário DH e às 14h00min no verão para o galpão SW. A umidade externa (Tabela 34) influencia na umidade interna, sendo que no período da manhã se apresentou maior comparado com os dados registrados no horário da tarde.

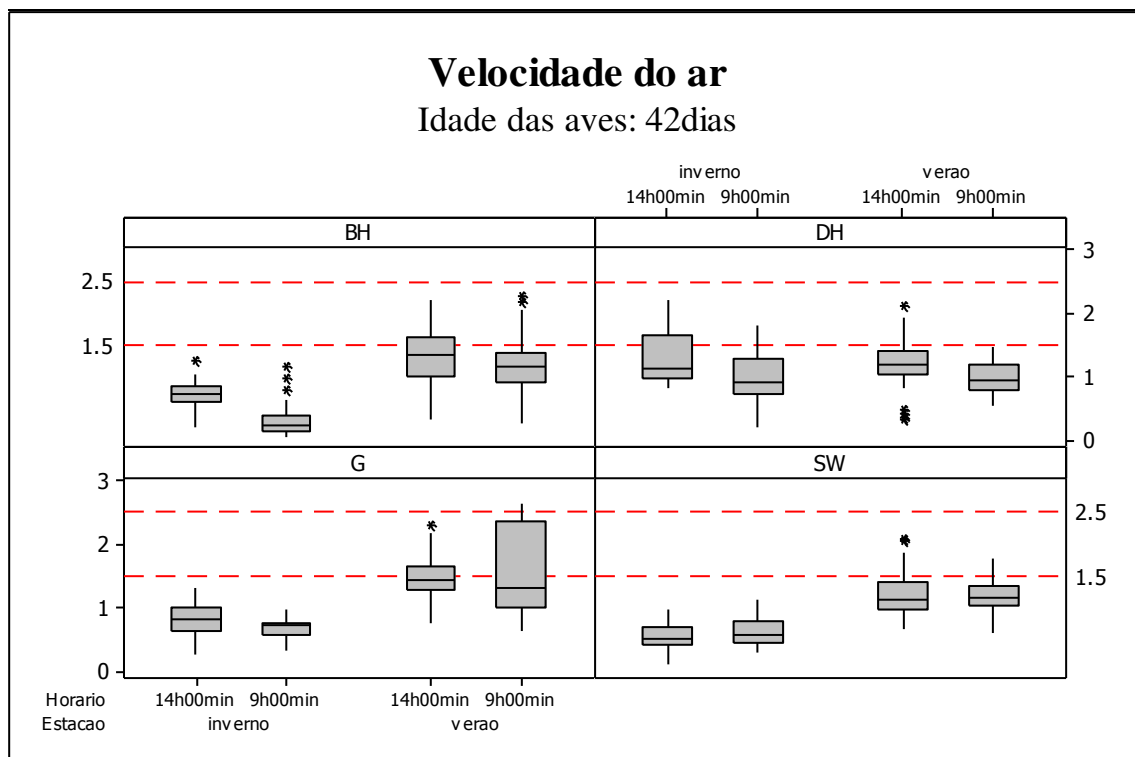
No período do inverno, os dados da UR não estiveram em torno de 60% com tendência de superar este valor para os aviários estudados (P-valor = 0,000). Enquanto que para o período do verão o aviário BH não esteve em torno de 60 % com tendência de ser menor que 60% (P-valor = 0,000), enquanto que os demais também não estiveram em torno de 60% com tendência de superar este valor (P-valor = 0,000).



BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 49. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental - umidade relativa [%] dos diferentes aviários, aos 42 dias de idade das aves.

A partir do gráfico *boxplot* (Figura 50) foi possível identificar menor variabilidade da Var no galpão DWH no horário das 9h00min no período do inverno, no galpão BH e SW no período do inverno, sugere-se que não houve diferença entre os horários de coleta de dados no aviário SW no período do inverno. Às 9h00min no verão houve maior variabilidade para o aviário DWH. A locação dos gráficos ficou aquém do recomendado pela literatura para o SW, resultados semelhantes foram observados no DH no período do verão, no DWH e BH no período do inverno. A Var não esteve em torno do valor médio ($2,0 \text{ m s}^{-1}$) recomendado pela literatura (YAHAV et al., 2001; COBB, 2008), com tendência de se manter aquém do recomendado (P-valor = 0,000).

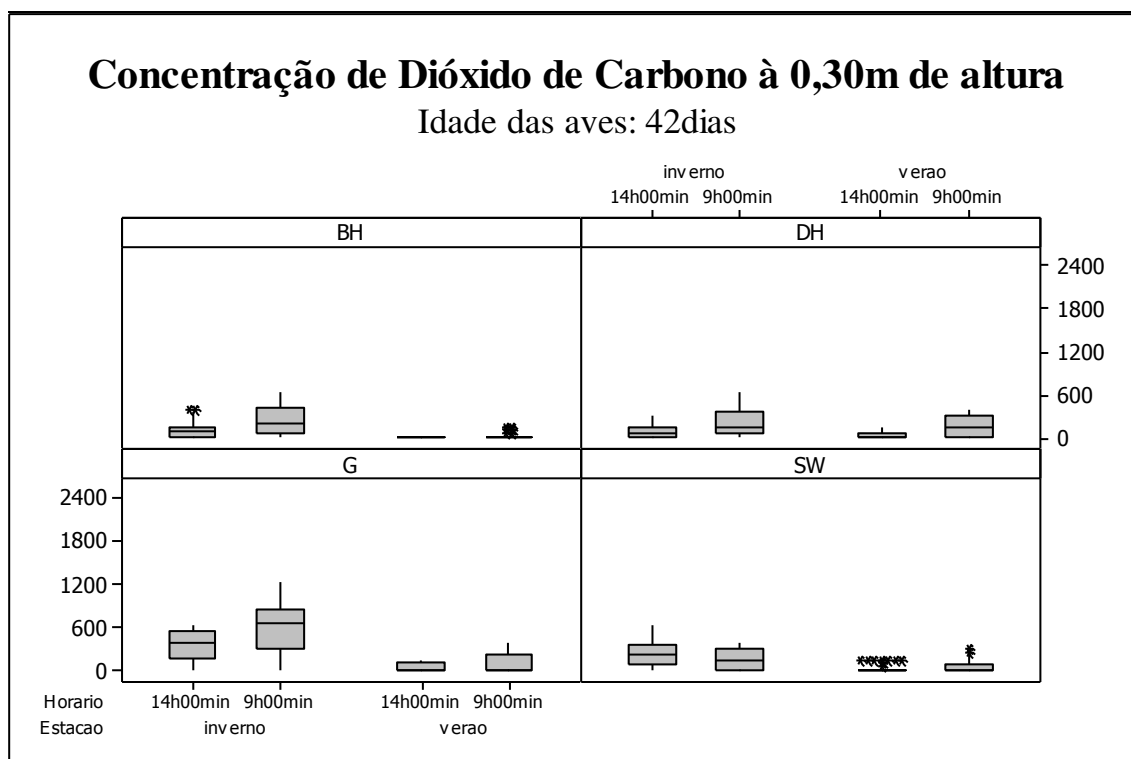


BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 50. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental - velocidade do ar [m s^{-1}] dos diferentes aviários, aos 42 dias de idade das aves.

A Figura 51 apresenta o gráfico *boxplot* para a variável aérea de concentração de CO_2 , a qual apresentou maior variabilidade às 9h00min no período do inverno para os aviários BH e DWH. O aviário BH às 14h00min no verão apresentou apenas valores iguais à zero, indicando que o sistema de ventilação foi suficiente para fazer a renovação do ar. Às 14h00min no período de verão foram obtidos os menores valores com variabilidade baixa, sendo que para SW houve presença de *outliers*.

A concentração de CO_2 para os aviários avaliados esteve aquém do valor máximo de especificação (3000 ppm) segundo a literatura com tendência de não ultrapassar o limite de máximo considerado ideal para a saúde do lote de frango de corte (P-valor = 1,000) para o período de verão e inverno.



BH = Blue House; DH = Dark House; G = DWH = Double Wide House; SW = Solid Wall.

Figura 51. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental – concentração de dióxido de carbono [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 42 dias de idade das aves.

A partir dos gráficos *boxplot* para a concentração de NH_3 (Figura 52) foi possível observar que a menor variabilidade ocorreu nos galpões de frango de corte DWH e BH no período do verão. Os dados estavam posicionados aquém ou além do valor de 10 ppm, entretanto nenhum valor ultrapassou o limite máximo de concentração de 20 ppm (GLOBALGAP, 2012). As maiores variabilidades foram encontradas às 9h00min na estação do inverno para o aviário DWH, como também ocorreu no inverno para SW.

A concentração de NH_3 esteve aquém do valor máximo de especificação (10 ppm) segundo a literatura com tendência de não ultrapassar o limite de segurança (P-valor = 1,000) para o período de verão. No período do inverno, os aviários BH (P-valor = 1,000), SW (P-valor = 0,951) e DH (P-valor = 1,000) apresentaram resultado semelhante ao período do verão, enquanto que o aviário DWH (P-valor = 0,071) esteve com o valor da concentração da NH_3 próximo de 10 ppm com tendência de superar este valor.

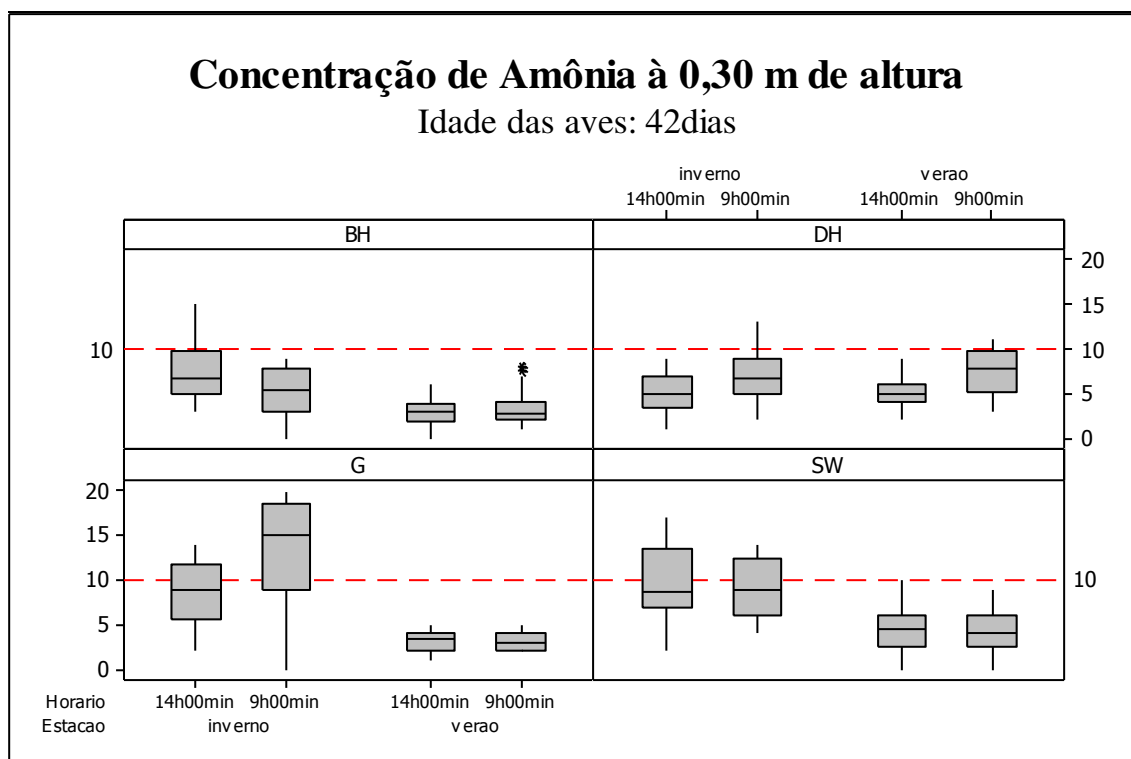


Figura 52. Gráfico de *boxplot* da variável ambiental – concentração de amônia [ppm] dos diferentes aviários à 0,30m do piso, aos 42 dias de idade das aves.

5.1.5 Considerações finais dos resultados da análise estatística

Os resultados da análise estatística descritiva, exploratória e confirmatória foram úteis para identificar as condições ambientais em que as aves estavam inseridas e também averiguar a tendência em ultrapassar ou não os níveis considerados ideais pela literatura dos atributos ambientais. Neste sentido, foi possível observar que o período do verão no horário das 14h00min foi o mais crítico para criação das aves em fase final de crescimento em relação ao conforto térmico, principalmente nos aviários do tipo BH e DWH. O aviário BH apresentou potencial de perda de calor por meio do resfriamento evaporativo, sendo aconselhado a instalações de painel evaporativo na entrada de ar e, o aviário DWH apresentou dificuldade na renovação de ar pela maior largura do aviário, sendo indicado o uso de valores maiores de pressão estática para o acionamento do sistema de ventilação. O aviário SW apresentou maior controle das variáveis climáticas e de qualidade do ar, entretanto os valores de velocidade do ar estiveram abaixo do

limite considerado ideal pela literatura. O aviário DH se apresentou como o mais adequado para a criação de aves na fase final de crescimento em relação ao conforto térmico.

5.2. Análise geoestatística dos dados

O resultado pertencente à geoestatística foi dividido pela idade do lote das aves.

5.2.1 Dados referentes aos 21 dias de idade das aves

A Tabela 35 apresenta os resultados obtidos pela análise geoestatística aos 21 dias de idade das aves, no horário das 9h00min e no período do inverno. Os semivariogramas calculados pela análise geoestatística foram ajustados no modelo esférico para as variáveis térmicas de Tbs nos aviários BH, DWH e SW, para a UR nos aviários DWH e SW, e para as variáveis aéreas de concentração de CO₂ no aviário SW e, de concentração de NH₃ no aviário DH. Os dados da temperatura foram ajustados no modelo linear no aviário DH. Os semivariogramas ajustados no modelo Gaussiano foram para a variável UR nos aviários BH e DH, para a Var nos galpões DWH e SW e, para a variável de concentração de CO₂ no DH e para a concentração de NH₃ nos aviários BH e DWH. O modelo exponencial foi ajustado para a variável de Var nos galpões BH e DH, bem como na concentração de CO₂ em BH e DWH e na concentração de NH₃ em SW.

A relação $C_0/(C_0+C_1)*100$, que caracteriza o grau de dependência espacial (GDE), foi classificada em forte (GDE<25%) para todas as variáveis (CAMBARDELLA et al., 1994), corroborando com os resultados de Miles et al. (2008), com exceção da Tbs com grau de dependência fraca (em função do modelo ser Linear) e da UR com grau de dependência moderada (25<GDE<75%) para o galpão DH.

O alcance das variáveis ambientais de Tbs, UR, Var e de concentração de CO₂ para o aviário DH foram os maiores com valores iguais à 104,18 m, 139,43 m, 131,70 m e 134,23 m, respectivamente. Os menores valores foram observados para o aviário BH o qual apresenta menor controle ambiental nesta fase de criação das aves, sendo entre 11,64 e 31,29 m. As amostras separadas por distâncias menores que o alcance apresenta relação de dependência espacial, enquanto amostras separadas por distâncias maiores que o alcance não apresenta essa relação (CAMBARDELLA et al., 1994). Essa informação contribui para amostragens futuras, principalmente com relação ao número e locais das amostras (MCBRATNEY & WEBSTER,

1983). Os modelos da geoestatística foram ajustados com coeficiente de determinação em torno de $R^2 = 0,80$.

Tabela 35. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R^2	SQR
Tbs	BH	Esférico	0,04	0,40	14,37	8,96%	0,95	1,02E-03
	DH	Linear	2,75	2,75	104,18	100,00%	0,65	5,56E+00
	DWH	Esférico	0,00	1,32	21,70	0,08%	0,71	1,10E-01
	SW	Esférico	0,01	0,21	26,60	5,76%	0,88	1,06E-03
UR	BH	Gaussiano	0,01	16,45	13,34	0,06%	0,87	1,90E+01
	DH	Gaussiano	32,10	125,20	139,43	25,64%	0,94	1,38E+02
	DWH	Esférico	0,40	32,35	22,10	1,24%	0,77	3,26E+01
	SW	Esférico	1,72	11,23	78,80	15,32%	0,96	1,10E+00
Var	BH	Exponencial	0,00	0,00	11,64	0,05%	0,63	1,06E-07
	DH	Exponencial	0,01	0,04	131,70	13,81%	0,99	2,39E-06
	DWH	Gaussiano	0,00	0,01	16,97	16,47%	0,85	1,26E-06
	SW	Gaussiano	0,00	0,03	13,79	0,04%	0,94	5,86E-06
CO ₂	BH	Exponencial	270,00	17870,00	31,29	1,51%	0,90	9,73E+06
	DH	Gaussiano	29000,00	669000,00	134,23	4,33%	1,00	2,38E+09
	DWH	Exponencial	1500,00	86870,00	54,30	1,73%	0,84	2,05E+08
	SW	Esférico	6180,00	37800,00	103,70	16,35%	0,98	3,43E+06
NH ₃	BH	Gaussiano	0,01	21,27	12,64	0,05%	0,88	2,58E+01
	DH	Esférico	0,01	13,37	20,40	0,07%	0,78	7,78E+00
	DWH	Gaussiano	0,01	18,44	20,61	0,05%	0,75	2,58E+01
	SW	Exponencial	0,01	9,80	82,50	0,10%	0,95	2,35E+00

GDE = Grau de Dependência Espacial; R^2 = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

Os resultados obtidos pela análise geoestatística aos 21 dias de idade das aves, no horário das 14h00min e no período do inverno estão apresentados na Tabela 36. Na qual é possível

observar que os semivariogramas foram ajustados no modelo esférico para as variáveis Tbs e Var nos galpões DH, DWH e SW, para UR e Var no aviário DWH e, para concentração de NH_3 para DH. O modelo gaussiano foi ajustado nos semivariogramas relativos à variável de Tbs e UR para BH, concentração de CO_2 para BH, DH e SW e para a concentração de NH_3 em BH e DWH. O modelo exponencial foi ajustado para a UR nos aviários DH e SW, para a Var no BH e para a concentração de NH_3 para o SW.

A análise da relação $C_0/(C_0+C_1)$ mostrou que as variáveis climáticas e aéreas apresentaram grau de dependência espacial forte, com exceção da concentração de CO_2 no DWH que teve GDE moderada (Tabela 36). Quanto maior a dependência espacial, menor será a contribuição do efeito pepita na variabilidade dos dados, consequentemente melhores serão as estimativas na krigagem.

O alcance indica a distância limite entre os pontos correlacionados entre si, sendo que os pontos coletados com distância maior à distância do alcance são independentes e, para a sua análise, é possível o uso da estatística clássica (VIEIRA, 2000). O maior alcance foi para a variável de UR com 105,69 m no galpão DH e a menor para a Tbs no BH com 10,74 m. Todas as variáveis apresentaram patamares bem definidos. Os valores do coeficiente de determinação (R^2) oscilaram entre os valores de 0,64 e 1,00.

Tabela 36. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Gaussiano	0,00	0,23	10,74	0,04%	0,84	1,99E-03
	DH	Esférico	0,01	4,30	19,90	0,23%	0,75	8,92E-01
	DWH	Esférico	0,01	4,27	21,40	0,23%	0,73	8,61E-01
	SW	Esférico	0,00	0,16	13,80	2,47%	0,72	6,29E-04
UR	BH	Gaussiano	0,01	21,42	14,72	0,05%	0,81	6,37E+01
	DH	Exponencial	3,69	31,29	105,69	11,79%	0,98	2,47E+00
	DWH	Esférico	3,58	20,39	79,00	17,56%	1,00	4,12E-01
	SW	Exponencial	3,13	27,26	59,10	11,48%	0,96	9,51E+00
Var	BH	Exponencial	0,00	0,02	23,94	0,05%	0,94	3,40E-06
	DH	Esférico	0,00	0,01	16,60	0,16%	0,72	8,70E-07
	DWH	Esférico	0,00	0,02	18,40	1,87%	0,73	7,30E-06
	SW	Esférico	0,02	0,14	76,50	15,70%	0,97	1,77E-04
CO ₂	BH	Gaussiano	1,00	1630,00	13,54	0,06%	0,97	2,02E+04
	DH	Gaussiano	6400,00	73900,00	104,79	8,66%	0,97	6,96E+07
	DWH	Esférico	66400,00	259400,00	98,50	25,60%	0,93	4,62E+08
	SW	Gaussiano	1,00	1796,00	17,32	0,06%	0,95	6,12E+04
NH ₃	BH	Gaussiano	0,07	4,05	14,55	1,73%	0,83	1,25E+00
	DH	Esférico	0,02	5,94	18,50	0,34%	0,67	1,59E+00
	DWH	Gaussiano	0,10	37,96	21,13	0,26%	0,79	8,62E+01
	SW	Exponencial	0,52	3,05	27,30	17,04%	0,64	5,22E-01

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 37 apresenta os resultados obtidos pela análise geoestatística aos 21 dias de idade das aves, no horário das 9h00min e no período do verão. As variáveis apresentaram forte grau de dependência espacial (GDE<25%), entretanto a variável Var para DWH e a concentração de CO₂ para DH apresentaram dependência espacial moderada (25<GDE<75%).

A variável Tbs para os aviários DH e SW, a variável UR para o aviário SW, a concentração de CO₂ para DWH e a concentração de NH₃ para DH e SW tiveram os semivariogramas ajustados ao modelo gaussiano, enquanto os semivariogramas ajustados ao modelo exponencial foram para as variáveis de Tbs e concentração de NH₃ no aviário BH, para a UR no aviário DWH e para a concentração de CO₂ no aviário SW, enquanto as demais variáveis em seus respectivos aviários tiveram seus semivariogramas ajustados ao modelo esférico.

Os valores de alcance relativos aos semivariogramas possui importância considerável na determinação do limite da dependência espacial, indicando o quanto abrange o modelo e as condições semelhantes no interior dos aviários. O aviário DWH apresentou maiores valores de alcance de 99,59 m e 108,95 m para a Var e a concentração de CO₂, respectivamente. Enquanto que o aviário SW apresentou alcance igual a 103,40 m para a concentração de NH₃, e os demais valores de alcance variaram entre 10 e 50 m. O menor valor do coeficiente de determinação foi de 0,71 para a variável de Tbs no aviário DWH, enquanto que os demais valores estiveram em torno de 0,95.

Tabela 37. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Exponencial	0,01	0,08	12,21	10,48%	0,88	2,99E-05
	DH	Gaussiano	0,00	0,76	17,58	0,13%	0,96	3,69E-03
	DWH	Esférico	0,00	1,32	21,70	0,08%	0,71	5,10E-06
	SW	Gaussiano	0,00	0,89	19,05	0,11%	0,89	5,61E-02
UR	BH	Esférico	0,60	3,22	40,30	18,52%	0,98	8,06E-02
	DH	Esférico	1,81	15,13	22,83	11,96%	0,94	1,53E+00
	DWH	Exponencial	0,86	10,63	16,80	8,09%	0,95	5,02E-01
	SW	Gaussiano	0,01	13,40	15,59	0,07%	0,88	6,59E+00
Var	BH	Esférico	0,00	0,04	15,80	5,65%	0,87	3,35E-05
	DH	Gaussiano	0,00	0,03	18,43	0,03%	0,99	1,66E-06
	DWH	Gaussiano	0,02	0,08	99,59	25,32%	1,00	1,53E-05
	SW	Gaussiano	0,00	0,03	19,05	14,26%	0,94	1,71E-05
CO ₂	BH	Esférico	331,00	3152,00	16,41	10,50%	0,81	3,97E+05
	DH	Esférico	6310,00	20270,00	90,50	31,13%	0,96	1,43E+06
	DWH	Gaussiano	3000,00	27100,00	108,95	11,07%	0,96	7,20E+06
	SW	Exponencial	70,00	4129,00	82,20	1,70%	0,96	1,58E+05
NH ₃	BH	Exponencial	0,04	1,10	53,70	3,36%	0,95	2,61E-02
	DH	Gaussiano	0,03	0,77	22,20	4,30%	0,95	6,50E-03
	DWH	Esférico	0,00	1,86	23,00	0,05%	0,76	1,83E-01
	SW	Gaussiano	0,31	1,47	103,40	21,29%	0,97	1,64E-02

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

Os resultados da análise geoestatística, para as aves aos 21 dias de idade no período do verão com os dados coletados às 14h00min (Tabela 38), demonstram que todos os atributos apresentam forte grau dependência espacial (25<GDE<75%), com exceção do atributo ambiental de Tbs no aviário DH e concentração de CO₂ no aviário DWH, concordando com os resultados obtidos por Miles et al. (2008).

Os semivariogramas que se ajustaram no modelo gaussiano foram para as variáveis de Tbs no aviário BH, para a UR nos aviários BH e DWH, para a concentração de CO_2 nos aviários BH, DWH e SW e para a concentração de NH_3 no aviário DH. O modelo esférico foi ajustado para os semivariogramas correspondentes às variáveis de Tbs no DH, DWH e SW, UR no SW, Var no DH e concentração de NH_3 em BH. Enquanto que o ajuste do semivariograma no modelo exponencial ocorreu para a variável UR e concentração de CO_2 no aviário DH, Var no BH e concentração de NH_3 para os aviários DWH e SW. Os maiores valores do alcance foram observados para as concentrações de NH_3 e CO_2 (entre 13,79 e 112,41 m), enquanto que as variáveis ambientais apresentaram alcance entre 11,60 e 61,80 m.

Tabela 38. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 21 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Gaussiano	0,02	0,22	11,60	11,13%	0,94	5,92E-04
	DH	Esférico	0,22	0,78	23,90	28,24%	0,72	2,00E-02
	DWH	Esférico	0,01	0,18	17,30	6,94%	0,74	4,22E-04
	SW	Esférico	0,01	0,83	22,00	1,33%	0,89	1,16E-02
UR	BH	Gaussiano	0,10	35,56	15,14	0,28%	0,87	1,10E+02
	DH	Exponencial	1,43	10,54	61,80	13,57%	0,99	3,76E-01
	DWH	Gaussiano	5,55	24,90	30,31	22,29%	0,74	5,72E+01
	SW	Esférico	0,01	25,69	19,50	0,04%	0,97	2,66E+00
Var	BH	Exponencial	0,01	0,12	13,80	9,34%	0,77	2,15E-04
	DH	Esférico	0,00	0,08	15,50	0,12%	0,65	1,57E-04
	DWH	Exponencial	0,00	0,05	22,20	8,23%	0,67	6,55E-05
	SW	Exponencial	0,00	0,03	24,90	1,76%	0,97	1,77E-06
CO ₂	BH	Gaussiano	1,00	1837,00	13,79	0,05%	0,84	2,16E+05
	DH	Exponencial	4670,00	11780,00	56,46	39,64%	0,89	1,01E+06
	DWH	Gaussiano	2710,00	10264,00	112,41	26,40%	0,99	4,35E+05
	SW	Gaussiano	390,00	5153,00	51,96	7,57%	0,98	3,08E+05
NH ₃	BH	Esférico	0,41	3,83	83,90	10,70%	0,98	5,42E-02
	DH	Gaussiano	0,37	1,47	102,02	25,00%	0,99	3,77E-03
	DWH	Exponencial	1,73	4,53	109,20	38,29%	0,73	1,53E+00
	SW	Exponencial	0,07	1,18	80,70	6,03%	0,98	5,54E-03

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

5.2.2 Dados referentes aos 28 dias de idade das aves

A Tabela 39 apresenta os resultados obtidos pela análise geoestatística aos 28 dias de idade das aves, no horário das 9h00min e no período do inverno. Os dados apresentaram dependência espacial forte ($GDE < 25\%$), indicando que a geoestatística é uma boa ferramenta de avaliação. Quanto menor for o efeito aleatório (C_0) na variabilidade dos dados, maior será a proporção da variabilidade associada à dependência espacial, assim melhor será as estimativas na interpolação dos dados, produzindo mapas que representam com maior precisão a realidade do fenômeno (VIEIRA, 2000).

A variável climática Tbs apresentou os semivariogramas ajustados no modelo gaussiano para os aviários BH, DWH e SW, bem como a variável UR para DH, a Var para BH e SW, a concentração de CO_2 para DH e DWH e a concentração de NH_3 para todos os aviários. Os semivariogramas ajustados ao modelo esférico foram as variáveis Tbs e Var no aviário DH e as variáveis UR e concentração de CO_2 no aviário BH. Os semivariogramas que se ajustaram no modelo exponencial foram para as variáveis de UR nos aviários DWH e SW, para a Var nos aviário DWH e para a concentração de CO_2 no aviário SW.

O aviário DWH apresentou maiores valores de alcance para a variável UR e concentração de CO_2 com valores iguais à 101,10 e 113,62 m, respectivamente. O aviário BH apresentou os menores valores para a Tbs e concentração de CO_2 com valores iguais à 10,91 e 11,90 m, respectivamente.

Tabela 39. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Gaussiano	0,00	1,15	10,91	0,09%	0,88	4,61E-02
	DH	Esférico	0,01	3,19	17,90	0,31%	0,61	5,40E-01
	DWH	Gaussiano	0,01	5,05	19,74	0,20%	0,85	8,41E-01
	SW	Gaussiano	0,00	0,10	15,76	0,10%	0,87	3,39E-04
UR	BH	Esférico	0,01	15,07	11,45	0,07%	0,74	9,86E+00
	DH	Gaussiano	3,13	23,87	25,43	13,11%	0,95	6,52E+00
	DWH	Exponencial	7,30	38,92	101,10	18,76%	0,85	4,06E+01
	SW	Exponencial	0,01	11,41	50,40	0,09%	0,93	2,80E+00
Var	BH	Gaussiano	0,00	0,01	13,15	0,10%	0,95	2,04E-06
	DH	Esférico	0,00	0,01	14,64	0,27%	0,93	1,25E-07
	DWH	Exponencial	0,00	0,01	44,10	17,67%	0,97	1,11E-07
	SW	Gaussiano	0,00	0,01	15,07	0,08%	0,99	2,29E-07
CO ₂	BH	Esférico	100,00	52980,00	11,90	0,19%	0,91	3,70E+07
	DH	Gaussiano	4900,00	100900,00	87,47	4,86%	0,96	2,10E+08
	DWH	Gaussiano	65100,00	341200,00	113,62	19,08%	0,93	1,22E+09
	SW	Exponencial	5600,00	37660,00	75,00	14,87%	0,96	1,23E+07
NH ₃	BH	Gaussiano	0,01	6,66	10,22	0,15%	0,84	1,33E+00
	DH	Gaussiano	0,01	5,81	18,01	0,17%	0,77	1,88E+00
	DWH	Gaussiano	0,10	88,90	23,38	0,11%	0,75	7,76E+02
	SW	Gaussiano	0,01	7,88	20,26	0,13%	0,87	3,70E+00

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 40 apresenta os resultados obtidos pela análise geoestatística aos 28 dias de idade das aves, no horário das 14h00min e no período do inverno.

O grau de dependência espacial foi forte (GDE<25%) para todas as variáveis, exceto para a concentração de CO₂ no aviário DWH.

O modelo esférico ajustou-se aos semivariogramas para a variável de Tbs nos aviários DH, DWH e SW, para a UR no aviário DH, para a Var nos aviários BH, DWH e SW, para a concentração de CO_2 nos aviários BH e SW e para a concentração de NH_3 nos aviários BH, DH e SW. O modelo Gaussiano foi ajustado para a variável Tbs no aviário BH e para a UR nos aviários BH e SW. As demais variáveis correspondentes aos seus aviários tiveram seus semivariogramas ajustados ao modelo Exponencial.

O alcance dos dados é um parâmetro do semivariograma, por meio do qual se pode determinar a área de representatividade das amostras e a intensidade amostral necessária para a área do aviário, sendo assim, o alcance da UR para o DH foi de 94,60 m e para a concentração de CO_2 o alcance foi de 99 m e 83,70 m para DWH e SW, respectivamente. Segundo Vieira (2000), pontos localizados em uma área com raio igual ao alcance tendem a ser mais homogêneos comparados com a área que está fora do raio.

Tabela 40. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Gaussiano	0,01	0,16	12,99	3,70%	0,94	5,81E-04
	DH	Esférico	0,03	0,85	16,40	3,89%	0,55	3,32E-02
	DWH	Esférico	0,00	1,98	21,30	0,05%	0,80	1,24E-01
	SW	Esférico	0,00	0,28	15,20	0,50%	0,89	9,70E-04
UR	BH	Gaussiano	0,01	15,70	14,55	0,06%	0,89	1,66E+01
	DH	Esférico	8,90	49,24	94,60	18,07%	0,99	9,25E+00
	DWH	Exponencial	0,10	13,75	53,70	0,73%	0,97	1,09E+00
	SW	Gaussiano	0,01	12,94	22,34	0,08%	0,96	3,07E+00
Var	BH	Esférico	0,01	0,08	41,96	7,79%	0,98	5,32E-05
	DH	Exponencial	0,00	0,07	24,30	2,28%	0,86	5,93E-05
	DWH	Esférico	0,00	0,07	20,90	5,40%	0,70	1,59E-04
	SW	Esférico	0,00	0,03	14,90	0,04%	0,75	2,00E-05
CO ₂	BH	Esférico	10,00	20550,00	12,02	0,05%	0,83	8,69E+06
	DH	Exponencial	2,00	2125,00	33,30	0,09%	0,73	2,22E+05
	DWH	Exponencial	7340,00	20200,00	99,00	36,34%	0,98	4,70E+05
	SW	Esférico	2600,00	46300,00	83,70	5,62%	0,97	1,55E+07
NH ₃	BH	Esférico	0,50	4,12	14,51	12,12%	0,70	8,25E-01
	DH	Esférico	0,00	1,08	18,96	0,09%	0,85	2,11E-02
	DWH	Exponencial	2,14	16,13	54,30	13,27%	0,71	2,02E+01
	SW	Esférico	1,71	12,74	26,40	13,42%	0,85	4,52E+00

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 41 apresenta os resultados da análise geoestatística dos dados relativos aos diferentes aviários quando as aves estavam com 28 dias de idade no período do verão, às 9h00min. Foi possível observar que os semivariogramas da Tbs ajustaram-se no modelo esférico, bem como os da Var para o aviário SW, da concentração de CO₂ no aviário DH e da concentração de NH₃ para os aviários DH e DWH. Os semivariogramas que se ajustaram ao

modelo gaussiano foram os das variáveis de UR, Var, CO₂ e NH₃ para o aviário BH e da concentração de CO₂ para o SW. Os demais semivariogramas ajustaram-se ao modelo exponencial.

O grau de dependência espacial foi classificado como forte (GDE<25%) para a maioria dos dados, exceto para as variáveis de Tbs e concentração de CO₂ no aviário BH o qual se apresentou com grau dependência espacial moderada (25<GDE<75%). Além disso, o alcance foi maior para a variável de UR e concentração de CO₂ no aviário DWH, remetendo um ambiente com maior homogeneidade.

Tabela 41. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Esférico	0,05	0,11	31,40	49,54%	0,75	5,08E-04
	DH	Esférico	0,00	0,52	16,40	0,19%	0,74	5,35E-03
	DWH	Esférico	0,01	0,18	20,20	7,51%	0,59	1,68E-03
	SW	Esférico	0,00	0,58	15,50	0,35%	0,60	1,97E-02
UR	BH	Gaussiano	0,00	1,55	13,86	0,06%	0,96	4,81E-02
	DH	Exponencial	9,90	60,79	37,50	16,29%	0,94	2,55E+01
	DWH	Exponencial	0,43	18,75	125,10	2,29%	0,96	3,79E+00
	SW	Exponencial	0,14	10,29	60,30	1,36%	0,94	1,54E+00
Var	BH	Gaussiano	0,00	0,06	13,48	0,16%	0,73	4,22E-04
	DH	Exponencial	0,02	0,09	39,60	19,32%	0,89	1,14E-04
	DWH	Exponencial	0,00	0,05	27,30	4,76%	0,86	2,81E-05
	SW	Esférico	0,00	0,02	17,60	0,06%	0,83	9,60E-06
CO ₂	BH	Gaussiano	1840,00	3890,00	52,74	47,30%	0,94	1,18E+05
	DH	Esférico	10,00	7051,00	16,90	0,14%	0,96	1,47E+05
	DWH	Exponencial	23500,00	197400,00	118,80	11,90%	0,97	2,93E+08
	SW	Gaussiano	2560,00	26220,00	73,26	9,76%	0,98	4,13E+06
NH ₃	BH	Gaussiano	1,42	9,85	85,91	14,42%	0,99	3,08E-01
	DH	Esférico	0,00	2,19	16,80	0,05%	0,90	3,13E-02
	DWH	Esférico	1,20	21,40	14,90	5,61%	0,91	6,23E+00
	SW	Exponencial	0,51	11,74	28,20	4,34%	0,77	6,05E+00

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 42 apresenta os dados referentes à análise geoestatística dos dados sob condições de verão às 14h00min, quando as aves estavam com 28 dias de idade. Os semivariogramas foram ajustados no modelo esférico para a Tbs nos aviários DH e SW, para a UR no aviário DWH, para a variável Var nos quatro aviários, para a concentração de CO₂ nos aviários DWH e SW e para a concentração de NH₃ no DH. Os semivariogramas ajustados no

modelo Gaussiano foram para as variáveis de Tbs nos aviários BH e DWH, de UR nos aviários BH e SW e de concentração de NH_3 para BH e DWH, enquanto que as demais variáveis foram ajustadas no modelo exponencial.

Com exceção da variável de concentração de CO_2 no aviário BH o qual apresentou grau de dependência espacial moderada ($25 < \text{GDE} < 75\%$), todos as outras variáveis com seus respectivos aviários apresentaram GDE forte ($\text{GDE} < 25\%$), indicando que a geoestatística é uma análise adequada para ser aplicada neste dados.

O maior valor do alcance foi obtido para a variável de concentração de CO_2 para o aviário DWH e para a UR no aviário SW. O coeficiente de determinação R^2 esteve acima de 0,80 para as variáveis com exceção da Tbs no aviário SW, Var e concentração de NH_3 no aviário DH e concentração de CO_2 para o aviário BH.

Tabela 42. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 28 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Gaussiano	0,00	0,42	13,51	0,24%	0,94	4,26E-03
	DH	Esférico	0,10	1,24	18,10	8,41%	0,87	1,58E-02
	DWH	Gaussiano	0,03	0,28	15,07	12,29%	0,87	4,89E-04
	SW	Esférico	0,04	0,81	15,20	5,08%	0,57	3,33E-02
UR	BH	Gaussiano	0,10	87,80	14,20	0,11%	0,84	8,35E+02
	DH	Exponencial	0,10	145,80	46,20	0,07%	0,92	3,68E+02
	DWH	Esférico	2,30	11,62	28,10	19,79%	0,90	1,76E+00
	SW	Gaussiano	4,94	30,87	77,94	16,00%	0,96	9,56E+00
Var	BH	Esférico	0,01	0,16	14,12	3,47%	0,97	1,19E-04
	DH	Esférico	0,00	0,10	15,80	4,41%	0,77	1,17E-04
	DWH	Esférico	0,00	0,04	19,10	0,26%	0,81	2,16E-05
	SW	Esférico	0,00	0,02	17,10	0,07%	0,90	3,55E-06
CO ₂	BH	Exponencial	288,00	758,60	39,60	37,96%	0,65	4,31E+04
	DH	Exponencial	1,00	614,80	38,70	0,16%	0,97	1,71E+03
	DWH	Esférico	3330,00	21560,00	92,00	15,45%	0,99	6,28E+05
	SW	Esférico	1070,00	22080,00	55,06	4,85%	0,99	7,97E+05
NH ₃	BH	Gaussiano	0,48	5,97	67,53	8,04%	0,98	3,56E-01
	DH	Esférico	0,00	1,48	18,50	0,13%	0,71	8,17E-02
	DWH	Gaussiano	0,01	7,02	21,13	0,14%	0,83	2,34E+00
	SW	Exponencial	3,57	26,62	33,00	13,41%	0,82	2,91E+01

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

5.2.3 Dados referentes aos 35 dias de idade das aves

A Tabela 43 apresenta os resultados da geoestatística aos 35 dias de idade das aves no período do inverno e no horário das 9h00min. O grau de dependência espacial foi classificado como forte ($GDE < 25\%$) em todas as variáveis com seus aviários correspondentes, exceto para a concentração de CO_2 no DH.

O modelo esférico ajustou-se aos semivariogramas correspondentes às variáveis de Tbs nos quatro aviários, de UR para os aviários DWH e SW, da Var e da concentração de NH_3 no DH e DWH e para a concentração de CO_2 no BH e DWH. O modelo gaussiano foi ajustado nos semivariogramas relacionados à variável de UR nos aviários BH e DH, para a Var no BH e SW e para a concentração de NH_3 no aviário SW. O modelo exponencial foi ajustado para as variáveis de concentração de CO_2 para os aviários DH e SW e para a concentração de NH_3 no BH.

O alcance dos dados é um parâmetro do semivariograma, por meio do qual pode-se determinar a área de representatividade das amostras e a intensidade amostral necessária para a área do aviário, sendo que os alcances da UR para o DH e DWH foram 91,45 m e 71,10 m, respectivamente, para a concentração de CO_2 o alcance foi de 100 m para DWH e para a concentração de NH_3 o alcance foi de 98,73 m para SW.

Tabela 43. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Esférico	0,01	0,43	7,55	2,31%	0,97	1,92E-05
	DH	Esférico	0,04	0,75	17,00	4,81%	0,71	1,45E-02
	DWH	Esférico	0,01	3,69	21,10	0,27%	0,72	5,87E-01
	SW	Esférico	0,02	0,34	14,70	5,60%	0,55	6,37E-03
UR	BH	Gaussiano	0,10	41,03	41,03	0,24%	0,83	2,11E+02
	DH	Gaussiano	2,16	8,78	91,45	24,60%	0,99	8,38E-02
	DWH	Esférico	10,40	59,50	71,10	17,48%	1,00	3,92E-01
	SW	Esférico	0,57	8,69	41,80	6,56%	0,90	3,82E+00
Var	BH	Gaussiano	0,00	0,04	14,77	7,79%	1,00	2,28E-07
	DH	Esférico	0,00	0,09	16,80	0,11%	0,94	3,07E-05
	DWH	Esférico	0,00	0,02	24,80	10,79%	1,00	2,55E-07
	SW	Gaussiano	0,01	0,15	15,24	9,50%	0,95	2,30E-04
CO ₂	BH	Esférico	5760,00	28260,00	69,06	20,38%	1,00	6,60E+05
	DH	Exponencial	14100,00	39950,00	65,10	35,29%	0,94	9,27E+06
	DWH	Esférico	18600,00	248200,00	100,00	7,49%	1,00	3,94E+07
	SW	Exponencial	1510,00	7814,00	51,60	19,32%	0,93	8,63E+05
NH ₃	BH	Exponencial	0,58	11,22	40,26	5,17%	0,91	3,63E+00
	DH	Esférico	0,20	4,60	18,60	4,35%	0,66	1,09E+00
	DWH	Esférico	0,01	22,97	21,80	0,04%	0,75	2,17E+01
	SW	Gaussiano	2,61	11,23	98,73	23,24%	0,94	1,32E+00

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

Os resultados da análise geoestatística (Tabela 44) demonstram que os atributos climáticos e aéreos foram classificados, segundo Cambardella et al. (1994), com dependência espacial forte (GDE<25%), entretanto a UR no aviário DH e a concentração de CO₂ no aviário BH apresentaram GDE moderada (25<GDE<75%).

Os semivariogramas se ajustaram no modelo gaussiano para as variáveis de Tbs nos aviários BH e DWH, UR no aviário BH, DH e SW, Var no SW, concentração de CO₂ nos aviários BH e SW e concentração de NH₃ no DWH. O modelo esférico foi ajustado nos semivariogramas para a Tbs nos aviários DH e SW, bem como para a Var nos aviários BH, DH e DWH, para a concentração de CO₂ no aviário DWH e para a concentração de NH₃ no DH. O ajuste do semivariograma no modelo exponencial ocorreu para a variável UR no DWH, para a concentração de CO₂ no DH e concentração de NH₃ para os aviários BH e SW.

Os maiores valores de alcance foram observados para as variáveis de UR no aviário DWH e para a concentração de CO₂, para BH e DWH, com valores de 82,80 m, 88,68 m e 95,30 m, respectivamente.

Tabela 44. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Gaussiano	0,00	0,73	12,47	0,14%	0,94	1,13E-02
	DH	Esférico	0,02	0,46	15,70	4,33%	0,72	3,71E-03
	DWH	Gaussiano	0,00	2,01	18,36	0,05%	0,71	2,39E-01
	SW	Esférico	0,00	1,47	15,90	0,07%	0,74	1,01E-01
UR	BH	Gaussiano	0,01	18,15	15,76	0,06%	0,89	1,98E+01
	DH	Gaussiano	3,39	11,09	24,94	30,57%	0,88	3,10E+00
	DWH	Exponencial	2,26	24,35	82,80	9,28%	0,98	3,01E+00
	SW	Gaussiano	0,10	51,17	20,26	0,20%	0,96	4,92E+01
Var	BH	Esférico	0,01	0,05	15,97	20,45%	0,95	1,83E-05
	DH	Esférico	0,00	0,09	16,68	1,78%	0,98	1,03E-05
	DWH	Esférico	0,01	0,04	40,90	24,26%	1,00	3,30E-07
	SW	Gaussiano	0,00	0,02	17,84	13,21%	0,95	6,51E-06
CO ₂	BH	Gaussiano	1970,00	6211,00	88,68	31,72%	0,98	4,76E+05
	DH	Exponencial	230,00	3764,00	46,50	6,11%	0,96	1,04E+05
	DWH	Esférico	8930,00	40040,00	95,30	22,30%	0,96	7,05E+06
	SW	Gaussiano	320,00	6259,00	21,13	5,11%	0,99	8,87E+04
NH ₃	BH	Exponencial	1,20	6,81	54,30	17,63%	0,93	4,58E-01
	DH	Esférico	0,00	1,27	21,00	0,08%	0,65	1,28E-01
	DWH	Gaussiano	0,01	8,66	20,61	0,12%	0,74	5,71E+00
	SW	Exponencial	0,09	3,67	22,50	2,45%	0,62	9,68E-01

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 45 apresenta os resultados da geoestatística aos 35 dias de idade das aves no período do verão e no horário das 9h00min. Os semivariogramas foram ajustados no modelo esférico para a variável Tbs em todos os aviários, para a UR nos aviários DH e SW, para a Var nos aviário DH, DWH e SW, para a concentração de CO₂ para DH e para a concentração de NH₃ para BH, DH e SW. O modelo gaussiano foi ajustado aos semivariogramas da UR e Var no

aviário BH e das concentrações de NH_3 e CO_2 para o aviário DWH. Enquanto os semivariogramas das variáveis UR para o aviário DWH e a concentração de CO_2 para os aviários BH e SW foram ajustados no modelo exponencial.

As variáveis registradas apresentaram grau de dependência espacial forte ($\text{GDE} < 25\%$) indicando que a análise geoestatística foi adequada para este banco de dados, sendo que a Tbs para o aviário BH apresentou dependência moderada ($25 < \text{GDE} < 75\%$). O alcance esteve em torno de 20 m, sendo que a variável Var para o aviário DH, a concentração de NH_3 para SW e a concentração de CO_2 para o DWH tiveram seus valores acima de 90 m, ou seja, o modelo foi abrangente para quase todo o galpão.

Tabela 45. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Esférico	0,16	0,46	19,20	34,57%	0,71	1,07E-02
	DH	Esférico	0,07	0,82	17,40	9,08%	0,90	4,44E-03
	DWH	Esférico	0,00	0,48	21,50	0,21%	0,73	9,14E-03
	SW	Esférico	0,00	0,68	13,40	0,15%	0,69	1,10E-02
UR	BH	Gaussiano	0,01	10,80	16,28	0,09%	0,99	5,40E+00
	DH	Esférico	3,35	18,59	24,50	18,02%	0,80	1,07E+01
	DWH	Exponencial	0,84	14,24	41,40	5,90%	0,96	8,17E-01
	SW	Esférico	0,62	10,33	13,90	6,00%	0,74	2,13E+00
Var	BH	Gaussiano	0,00	0,13	11,64	0,15%	1,00	1,69E-05
	DH	Esférico	0,02	0,10	104,10	21,33%	0,97	1,94E-04
	DWH	Esférico	0,00	0,02	18,70	0,12%	0,84	6,32E-06
	SW	Esférico	0,00	0,08	16,90	0,53%	0,96	3,45E-05
CO ₂	BH	Exponencial	576,00	2556,00	47,70	22,54%	0,80	2,71E+05
	DH	Esférico	930,00	9182,00	21,19	10,13%	0,86	1,23E+06
	DWH	Gaussiano	9200,00	69500,00	98,55	13,24%	0,98	2,31E+07
	SW	Exponencial	240,00	10250,00	53,40	2,34%	0,91	2,85E+06
NH ₃	BH	Esférico	0,40	2,57	75,40	15,67%	0,99	1,28E-02
	DH	Esférico	0,01	1,76	19,20	0,51%	0,72	1,26E-01
	DWH	Gaussiano	0,01	10,01	20,95	0,10%	0,80	5,78E+00
	SW	Esférico	0,69	3,65	96,60	18,90%	0,96	1,19E-01

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A Tabela 46 apresenta os resultados da geoestatística. Os dados coletados quando as aves apresentavam 35 dias de idade no horário das 14h00min e no período do verão apresentaram dependência espacial forte (GDE<25%), exceto para a velocidade do ar nos aviários BH e DWH, com GDE moderado, ainda assim sugere-se que a geoestatística é uma análise adequada para este banco de dados.

O modelo esférico ajustou-se aos semivariogramas referentes aos dados da variável Tbs para o aviário SW, bem como para a UR para os aviários DWH e SW, para a Var no BH e SW, para a concentração de CO₂ no DWH e para a concentração de NH₃ no DH. Enquanto o modelo Gaussiano foi ajustado aos semivariogramas para a variável Tbs nos aviários BH, DH e DWH, para UR nos aviários BH e DH e para a concentração de NH₃ nos aviários BH e DWH. O modelo exponencial foi ajustado para a variável Var nos aviários DH e DWH, para a concentração de CO₂ nos aviários BH, DH e SW e para a concentração de NH₃ no aviário SW.

O parâmetro alcance dos dados esteve em torno de 20 m, enquanto que o alcance para a concentração de CO₂ e para a Var foi igual a 114,90 m e 72,90 m, respectivamente, para o aviário DWH, sugerindo uniformidade das condições climáticas e aéreas no interior do aviário.

Tabela 46. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 35 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Gaussiano	0,00	2,92	12,47	0,03%	0,90	3,55E-01
	DH	Gaussiano	0,07	0,70	20,27	9,64%	0,84	2,00E-02
	DWH	Gaussiano	0,00	0,34	21,65	0,29%	0,72	1,11E-02
	SW	Esférico	0,00	1,06	16,60	0,09%	0,93	1,52E-02
UR	BH	Gaussiano	0,01	12,22	12,78	0,08%	0,82	8,45E+00
	DH	Gaussiano	9,90	68,05	19,57	14,55%	0,77	2,51E+02
	DWH	Esférico	0,01	12,69	21,30	0,08%	0,66	8,05E+00
	SW	Esférico	0,05	10,53	15,10	0,47%	0,66	5,40E+00
Var	BH	Esférico	0,03	0,12	19,88	25,78%	0,85	3,67E-04
	DH	Exponencial	0,00	0,12	25,20	0,26%	0,95	6,01E-05
	DWH	Exponencial	0,02	0,04	72,90	36,53%	0,97	6,34E-06
	SW	Esférico	0,00	0,06	15,00	0,16%	0,88	4,58E-05
CO ₂	BH	Exponencial	42,00	851,90	56,91	4,93%	0,89	2,21E+04
	DH	Exponencial	340,00	4546,00	42,00	7,48%	0,90	3,30E+05
	DWH	Esférico	2150,00	25400,00	114,90	8,46%	0,97	3,62E+06
	SW	Exponencial	10,00	4298,00	36,00	0,23%	0,92	3,27E+05
NH ₃	BH	Gaussiano	0,47	3,95	66,65	11,90%	0,97	1,12E-01
	DH	Esférico	0,04	1,13	19,49	3,37%	0,97	3,45E-03
	DWH	Gaussiano	0,21	7,98	24,08	2,63%	0,84	3,14E+00
	SW	Exponencial	0,12	1,92	45,30	6,31%	0,86	1,49E-01

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

5.2.4 Dados referentes aos 42 dias de idade das aves

A partir dos resultados da geoestatística (Tabela 47) foi possível observar que os semivariogramas foram ajustados no modelo esférico para a variável Tbs nos aviários BH, DH e SW, para a UR no aviário DWH, para a variável Var em todos os galpões de frango de corte, para a concentração de CO₂ para DH e DWH e para a concentração de CO₂ para DH e SW. Os semivariogramas ajustados ao modelo gaussiano estão relacionados à variável Tbs no aviário DWH, à UR no aviário BH e à concentração de NH₃ para o BH e DWH, e os demais semivariogramas foram ajustados no modelo exponencial.

O parâmetro de grau de dependência espacial foi classificado como forte para todas as variáveis, com exceção da Tbs no aviário BH. O sistema de ventilação gerou um ambiente o qual os alcances estiveram em torno de 20 m, enquanto que os maiores valores foram observados para a concentração de CO₂ no aviário DWH e os menores valores para os aviários BH e DH para todas as variáveis, oscilando entre 10,91 e 41,99 m. Os valores médios do coeficiente de determinação R² foram iguais a 0,86, 0,83, 0,82 e 0,83 para os aviários BH, DH, DWH e SW, respectivamente.

Tabela 47. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Esférico	0,38	0,76	31,30	49,93%	0,79	1,84E-02
	DH	Esférico	0,03	0,89	16,30	2,81%	0,66	2,20E-02
	DWH	Gaussiano	0,01	5,32	21,13	0,19%	0,67	3,21E+00
	SW	Esférico	0,02	0,28	15,00	5,85%	0,86	9,62E-04
UR	BH	Gaussiano	0,01	18,79	10,91	0,05%	0,75	2,07E+01
	DH	Exponencial	0,99	7,53	37,50	13,15%	0,92	7,25E-01
	DWH	Esférico	5,60	44,13	104,60	12,69%	0,98	1,39E+01
	SW	Gaussiano	0,02	18,43	17,84	0,11%	0,97	2,98E+00
Var	BH	Esférico	0,00	0,05	41,99	0,59%	1,00	1,45E-06
	DH	Esférico	0,00	0,09	15,50	0,11%	0,73	1,36E-04
	DWH	Esférico	0,00	0,02	19,20	0,08%	0,68	1,73E-05
	SW	Esférico	0,00	0,04	13,30	0,47%	0,68	4,82E-05
CO ₂	BH	Exponencial	2500,00	47680,00	29,40	5,24%	0,85	1,03E+08
	DH	Esférico	10,00	27480,00	18,90	0,04%	0,97	2,10E+06
	DWH	Esférico	40500,00	183100,00	127,10	22,12%	0,94	2,45E+08
	SW	Exponencial	10,00	16180,00	90,30	0,06%	0,96	2,45E+06
NH ₃	BH	Gaussiano	0,01	7,22	11,61	0,14%	0,92	1,17E+00
	DH	Esférico	0,02	5,68	18,30	0,35%	0,85	4,58E-01
	DWH	Gaussiano	2,40	41,29	23,20	5,81%	0,82	9,22E+01
	SW	Esférico	0,30	9,21	17,30	3,26%	0,67	5,72E+00

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

Resultados da geoestatística (Tabela 48) demonstraram que o modelo esférico foi ajustado aos semivariogramas para a variável Tbs nos aviários BH, DH e DWH, para a UR no aviário SW, para a Var no DH, DWH e SW, para a concentração de CO₂ no aviário DWH e para a concentração de NH₃ para o DH. O modelo exponencial foi ajustado para as variáveis de UR no DH e DWH e para a concentração de CO₂ no DH. O modelo gaussiano foi ajustado para a UR,

Var e concentração de CO_2 no BH, enquanto que nos aviários BH, DWH e SW para a concentração de NH_3 .

As variáveis climáticas e concentração de gases estudados nos diferentes ambientes apresentaram dependência espacial forte ($\text{GDE} < 25\%$), e a Var para o aviário DH e as concentrações de CO_2 e NH_3 apresentaram grau de dependência espacial moderada ($25 < \text{GDE} < 75\%$). A variável Tbs no aviário SW apresentou efeito pepita puro, neste caso, toda a variabilidade quantificada pelo semivariograma é atribuída ao efeito aleatório e, nada pode ser dito sobre a dependência espacial (VIEIRA, 2000).

O alcance representa a distância limite de amostragem em que os pontos coletados estão correlacionados, contribuindo para o planejamento amostral e definição dos locais onde as variáveis climáticas serão amostradas (MCBRATNEY & WEBSTER, 1983; SOUZA et al., 2006). Os dados apresentaram valores de alcance variando de 10,08 a 109,90 m.

Tabela 48. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do inverno e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Esférico	0,30	0,63	37,18	48,03%	0,75	1,92E-02
	DH	Esférico	0,04	0,62	18,20	6,31%	0,72	1,19E-02
	DWH	Esférico	0,03	0,16	26,40	16,48%	0,98	4,75E-05
	SW	Efeito Pepita Puro						
UR	BH	Gaussiano	0,51	8,03	69,26	6,35%	0,97	9,25E-01
	DH	Exponencial	0,10	43,51	37,80	0,23%	0,88	6,06E+01
	DWH	Exponencial	6,80	57,00	109,80	11,93%	0,91	9,91E+01
	SW	Esférico	0,01	17,54	16,00	0,06%	0,93	2,61E+00
Var	BH	Gaussiano	0,00	0,03	10,08	0,03%	0,78	3,54E-05
	DH	Esférico	0,09	0,18	49,90	49,72%	0,79	8,94E-04
	DWH	Esférico	0,00	0,05	28,80	5,95%	1,00	1,02E-06
	SW	Esférico	0,00	0,05	15,60	0,89%	0,91	2,20E-05
CO ₂	BH	Gaussiano	6660,00	18780,00	59,15	35,46%	0,99	6,80E+05
	DH	Exponencial	2100,00	11100,00	39,90	18,92%	0,94	9,67E+05
	DWH	Esférico	7670,00	38400,00	92,30	19,97%	0,98	3,72E+06
	SW	Exponencial	300,00	33650,00	41,70	0,89%	0,89	2,81E+07
NH ₃	BH	Gaussiano	4,84	14,69	72,23	32,95%	0,95	5,45E-01
	DH	Esférico	0,26	4,94	21,30	5,27%	0,82	6,98E-01
	DWH	Gaussiano	0,01	12,63	19,92	0,08%	0,72	1,21E+01
	SW	Gaussiano	1,38	18,12	17,49	7,62%	0,78	2,27E+01

A Tabela 49 apresenta a análise geoestatística dos dados para os diferentes aviários, durante o período do verão, às 9h00min, aos 42 dias de idade das aves. Foi possível observar que todas as variáveis apresentaram grau de dependência espacial forte, com exceção da UR para DWH. Os semivariogramas ajustados ao modelo esférico foram para a Tbs nos aviários BH e DH, para a UR nos aviários DH e DWH, para a Var e a concentração de CO₂ no aviário DWH. O modelo gaussiano foi ajustado nos semivariogramas correspondentes às variáveis de Tbs nos aviários DWH e SW, para a UR nos aviários BH e SW, para a Var no aviário SW, para as concentrações de CO₂ para os aviários DH e SW e para as concentrações de NH₃ nos aviários

BH, DH e DWH. O valor do alcance esteve em torno de 20 m para as variáveis, e alcançou valor máximo de 117,43 m para a concentração de CO₂ no aviário DH.

Tabela 49. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os diferentes aviários, aos 42 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 09h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Esférico	0,03	0,50	19,60	5,59%	0,97	2,00E-03
	DH	Esférico	0,03	0,73	19,91	3,68%	0,93	3,75E-03
	DWH	Gaussiano	0,07	0,50	17,49	14,14%	0,83	3,87E-03
	SW	Gaussiano	0,08	0,63	16,11	13,35%	0,92	6,99E-03
UR	BH	Gaussiano	0,57	5,09	14,38	11,20%	0,95	3,42E-01
	DH	Esférico	0,01	9,60	14,30	0,10%	0,64	1,42E+00
	DWH	Esférico	8,14	26,57	27,30	30,64%	0,85	1,05E+01
	SW	Gaussiano	0,01	16,33	18,36	0,06%	0,98	1,94E+00
Var	BH	Exponencial	0,02	0,20	19,20	11,44%	0,65	2,37E-03
	DH	Exponencial	0,01	0,05	20,70	9,43%	0,84	2,46E-05
	DWH	Esférico	0,01	0,43	18,90	3,00%	0,99	1,27E-04
	SW	Gaussiano	0,00	0,05	18,19	0,20%	0,98	2,10E-05
CO ₂	BH	Exponencial	1,00	1402,00	43,23	0,07%	0,90	6,20E+04
	DH	Gaussiano	4240,00	23240,00	117,43	18,24%	0,99	5,66E+05
	DWH	Esférico	3250,00	15750,00	65,70	20,63%	0,97	2,77E+06
	SW	Gaussiano	10,00	5357,00	17,84	0,19%	0,94	5,35E+05
NH ₃	BH	Gaussiano	0,96	3,93	76,35	24,44%	0,90	9,39E-02
	DH	Gaussiano	0,01	3,58	19,69	0,28%	0,97	8,75E-02
	DWH	Gaussiano	0,00	0,90	20,61	0,11%	0,78	4,93E-02
	SW	Exponencial	0,01	7,19	37,20	0,14%	0,91	1,56E+00

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

A partir da análise geoestatística (Tabela 50), foi possível observar que os semivariogramas ajustados ao modelo exponencial foram para as variáveis de Tbs no aviário BH e DWH, para a UR e a Var no aviário DWH, para a concentração de CO₂ no aviário DH e para

concentração de NH_3 nos aviários DH e DWH. O modelo esférico foi ajustado para a Tbs no aviário DH, para a Var no BH, DH e SW e para a concentração de CO_2 no aviário DWH. As demais variáveis com seus respectivos aviários apresentaram semivariograma ajustado ao modelo gaussiano.

O parâmetro grau de dependência espacial indica que a análise geostatística foi adequada para este conjunto de dados, o qual apresenta dependência espacial forte ($\text{GDE} < 25\%$), ou seja, a distribuição dos dados no interior dos galpões está em função do sistema de ventilação e não somente uma distribuição aleatória, enquanto que a UR e a concentração de NH_3 no aviário DH apresentaram dependência espacial moderada ($25 < \text{GDE} < 75\%$).

O coeficiente de determinação R^2 apresentou valor mínimo de 0,77. Foram observados valores maiores de alcance para as variáveis registradas no aviário BH, sendo de 68,49 m para a concentração de NH_3 e 14,72 m para a UR.

Tabela 50. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis ambientais para os aviários BH, DH, DWH e SW, aos 42 dias de vida das aves, no período do verão e no horário das 14h00min.

Variável	Aviário	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
Tbs	BH	Exponencial	0,04	0,18	62,31	23,55%	0,96	2,41E-04
	DH	Esférico	0,00	0,50	16,80	0,40%	0,86	2,67E-03
	DWH	Exponencial	0,04	0,37	26,10	11,20%	0,61	5,21E-03
	SW	Gaussiano	0,00	1,30	14,89	0,08%	0,92	3,43E-02
UR	BH	Gaussiano	0,01	23,88	14,72	0,04%	0,85	6,04E+01
	DH	Gaussiano	5,99	21,27	23,90	28,16%	0,84	1,52E+01
	DWH	Exponencial	0,01	10,21	46,20	0,10%	0,91	2,38E+00
	SW	Gaussiano	0,01	3,50	15,59	0,29%	0,88	3,61E-01
Var	BH	Esférico	0,01	0,21	21,90	6,41%	0,91	1,41E-03
	DH	Esférico	0,00	0,13	15,40	0,07%	0,94	4,76E-05
	DWH	Exponencial	0,01	0,11	24,30	13,08%	0,77	2,02E-04
	SW	Esférico	0,00	0,09	14,50	0,11%	0,82	1,23E-04
CO ₂	BH	Valores iguais à zero						
	DH	Exponencial	144,00	3294,00	49,50	4,37%	0,95	1,24E+05
	DWH	Esférico	1050,00	4579,00	112,20	22,93%	0,99	2,53E+04
	SW	Gaussiano	10,00	3178,00	18,71	0,31%	0,95	1,76E+05
NH ₃	BH	Gaussiano	0,18	3,37	68,49	5,34%	0,98	1,29E-01
	DH	Exponencial	0,75	2,07	89,40	36,18%	0,87	5,82E-02
	DWH	Exponencial	0,00	1,42	55,80	0,07%	0,80	1,47E-01
	SW	Gaussiano	0,01	8,13	16,11	0,12%	0,84	2,97E+00

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos; Tbs = temperatura de bulbo seco, °C; UR = umidade relativa, %; Var = velocidade do ar, m s⁻¹; CO₂ = concentração de dióxido de carbono, ppm; NH₃ = concentração de amônia, ppm; BH = *Blue House*; DH = *Dark House*; DWH = *Double Wide House*; SW = *Solid Wall*.

5.2.5 Considerações finais dos resultados da análise geoestatística

A análise geoestatística foi uma ferramenta capaz de auxiliar na avaliação do sistema de ventilação e a complementar a análise estatística realizada anteriormente, uma vez que apresentou a dependência espacial entre as variáveis estudadas e a distribuição das mesmas por meio do mapeamento das condições (Item 5.3). Por meio da geoestatística foi possível observar quais

aviários apresentaram maior controle do sistema de ventilação e também a identificar a influência do painel evaporativo nas condições padrão de funcionamento dos exaustores, uma vez que o painel evaporativo auxiliou no resfriamento do ar no centro do aviário e as laterais apresentaram maiores valores de temperatura, podendo ser influenciado pelas condições externas e pelo atrito que as faces laterais proporcionaram.

5.3 Mapeamento das condições do ambiente térmico e aéreo para os quatro aviários

A Figura 53 ilustra o esquema do sistema de ventilação em relação às entradas do ar através do painel evaporativo nos aviários *Dark House* (DH), *Double Wide House* (DWH) e *Solid Wall* (SW) e na face posterior do galpão no *Blue House* (BH) e em relação às saídas do ar através dos exaustores.

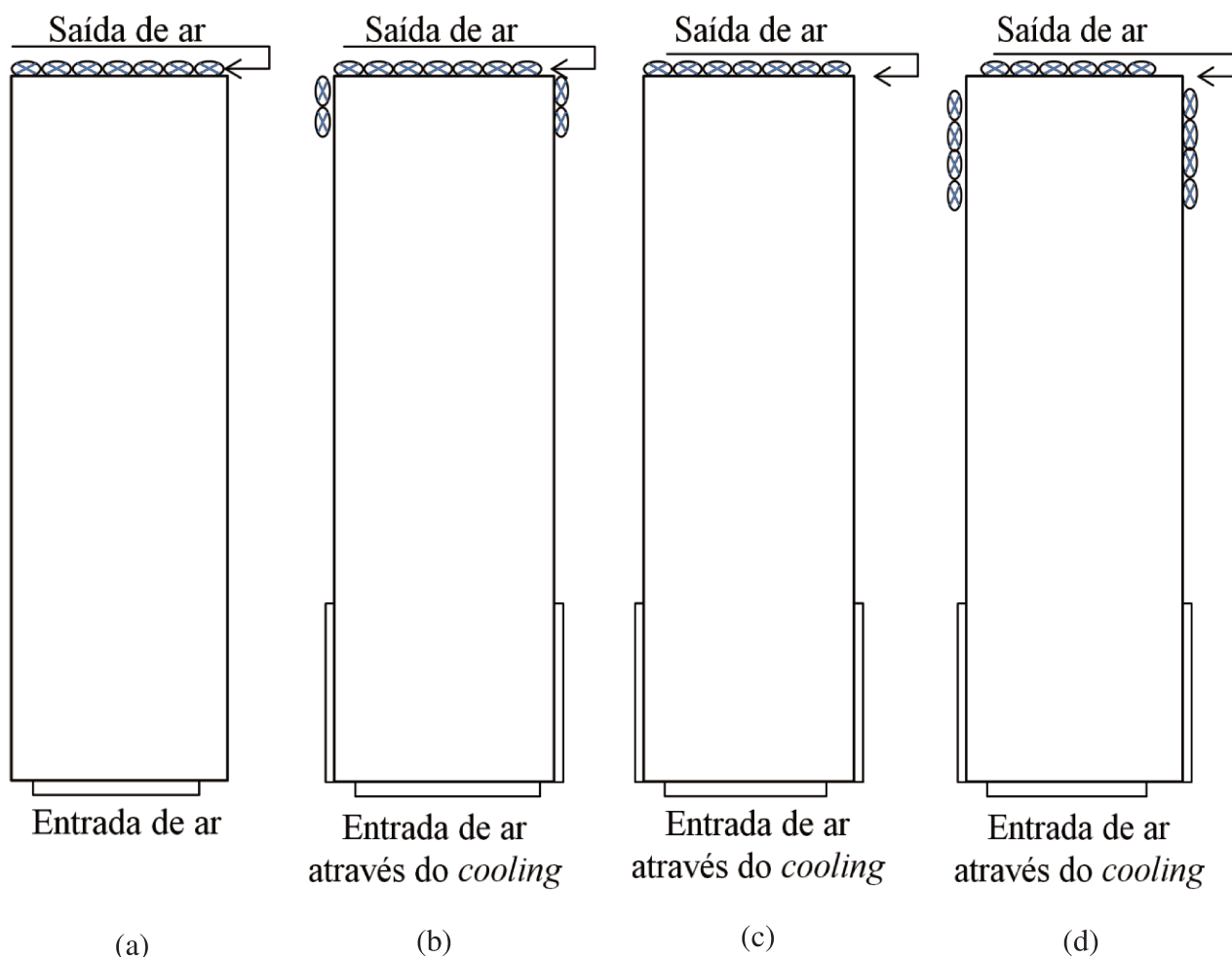


Figura 53. Esquema simplificado dos aviários estudados do tipo *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d).

O aviário do tipo BH (Figura 54 a) apresentou as maiores temperaturas no centro do aviário, indicando que o ambiente gerado foi influenciado mais diretamente pelo ambiente externo comparado com o sistema de resfriamento (funcionamento dos exaustores e nebulizadores), uma vez que as menores temperaturas estão localizadas próximo às laterais e os exaustores posicionados à esquerda desempenham melhor renovação comparada com os exaustores posicionados à direita do mapa de krigagem, como também a influência do ambiente externo o qual contribui para o aquecimento na lateral direita. Em relação ao aviário do tipo DH (Figura 54 b), foi possível observar que as menores temperaturas localizaram-se no centro do aviário, sendo que uma faixa que percorre no sentido do painel evaporativo para os exaustores apresenta menores temperaturas também, indicando que os nebulizadores no interior do aviário juntamente com o funcionamento do painel evaporativo estão sendo capaz de resfriar o ar, embora as laterais apresentem maiores temperaturas pela influência das condições externas.

O aviário DWH (Figura 54 c) apresentou as menores temperaturas no centro do aviário e na entrada de ar na face oposta aos exaustores, embora não foi suficiente para resfriar o ar em condições térmicas adequadas. Enquanto o aviário SW (Figura 54 d) apresenta a maioria dos seus valores entre 27,0 e 27,8 °C próximo à face direita, observa-se também que o ar que entra através do painel evaporativo à direita recebe maior resfriamento comparado com o painel evaporativo da esquerda, possivelmente em função da posição solar. Os aviários BH, DH, DWH e SW apresentaram variação pelo método da krigagem igual à 1,2 °C, 2,0 °C, 1,0 °C e 3,2°C, respectivamente.

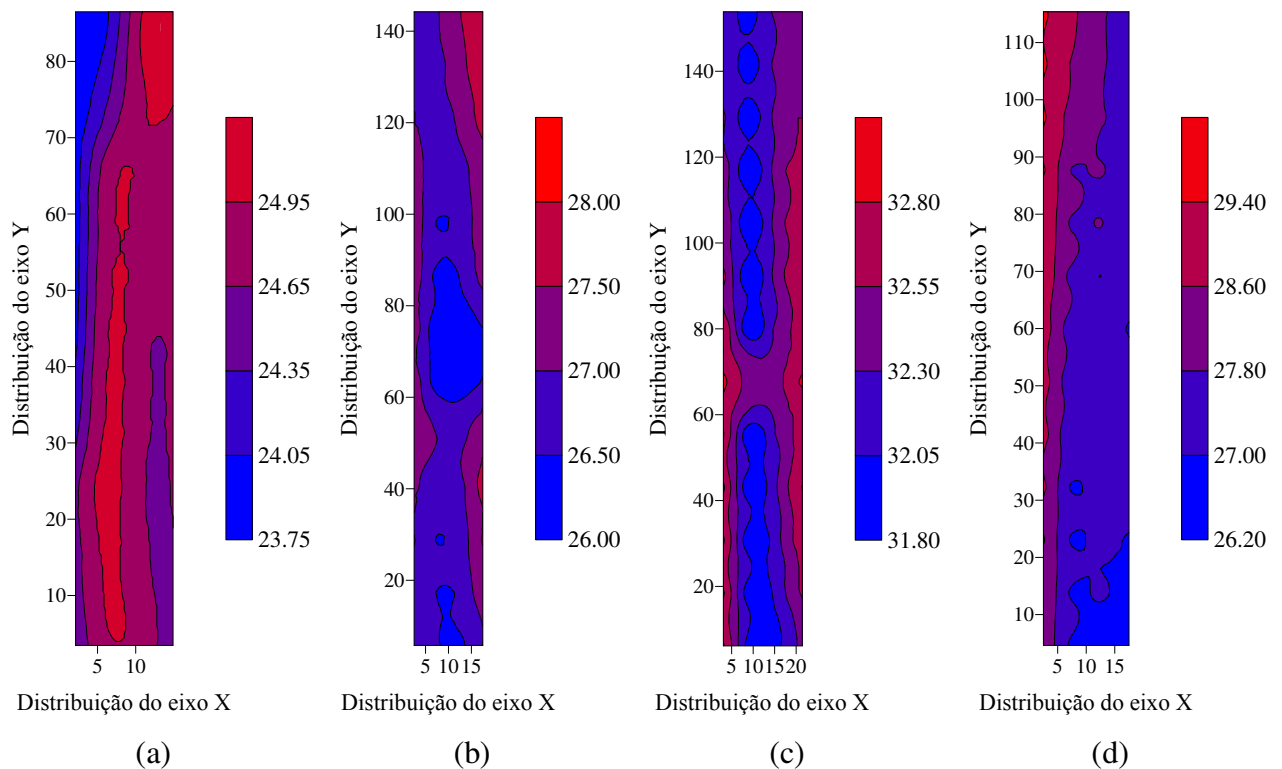


Figura 54. Mapas de krigagem para a variável de temperatura de bulbo seco nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 21 dias de idade das aves.

A Figura 55 apresenta a distribuição da Tbs para aves com 28 dias de idade. O aviário *Blue House* (Figura 55 a) apresentou temperaturas mais amenas no centro do aviário remetendo que o sistema de resfriamento (conjunto de nebulizadores na entrada e no interior do aviário) foi eficiente, confirmado pela mesma faixa de temperatura (entre 26,45 e 26,75 °C) posicionado no sentido longitudinal do aviário, entretanto, os maiores valores estiveram próximo às faces laterais (principalmente à direita) remetendo a influência do ambiente externo sob o ambiente interno e também a dificuldade nas trocas de ar próximo às paredes em que apresenta maior resistência de contato no fluxo de ar. Enquanto que o aviário DH (Figura 55 b) apresentou resultado semelhante ao aviário *Blue House*, observando maiores temperatura próximo às faces laterais, e no centro temperaturas mais amenas. O aviário DWH (Figura 55 c) apresentou valores também amenos no centro do aviário, sendo que de modo geral teve temperaturas menores em relação aos outros aviários estudados. Em relação ao sistema de resfriamento, observa-se que o painel evaporativo posicionado na face oposta aos exaustores auxiliara o resfriamento do ar melhor que os painéis

evaporativos posicionados nas laterais, e houve climas amenos na lateral esquerda próximo ao painel evaporativo em função do acionamento dos nebulizadores no período da coleta de dados. O aviário SW (Figura 55 d) apresentou bolsões de ar ora com temperaturas mais amenas, ora com temperaturas mais elevadas, remetendo um sistema de ventilação que não favoreceu a homogeneidade das condições térmicas interna. Os aviários BH, DH, DWH e SW apresentaram variação pelo método da krigagem igual à 1,20 °C, 2,40 °C, 1,25 °C e 2,80°C, respectivamente.

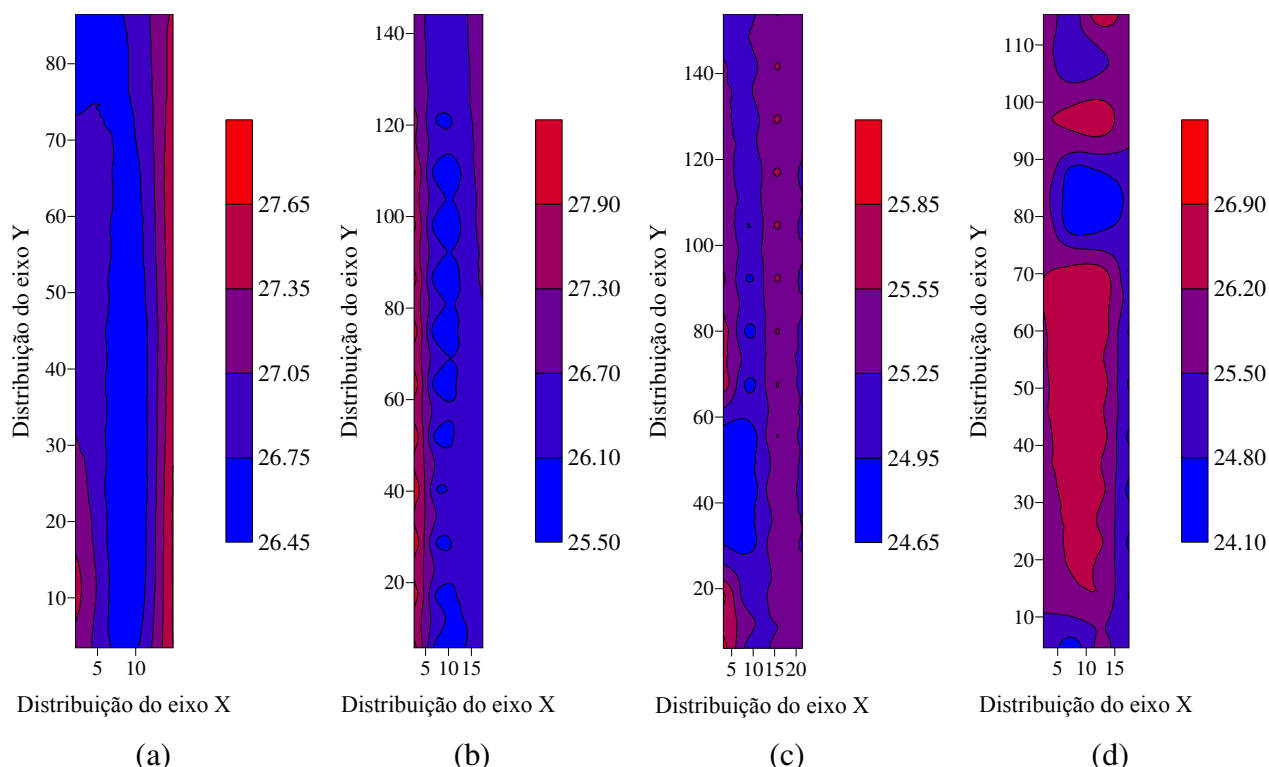


Figura 55. Mapas de krigagem para a variável de temperatura de bulbo seco nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 28 dias de idade das aves.

Por meio da Figura 56 (a) é possível observar que o aviário BH apresentou temperatura mais amena no centro (entre 27,00 e 28,50 °C), indicando que o sistema de ventilação foi eficiente para a maioria da área de ocupação das aves, embora próximo as laterais a temperatura fosse superior, sendo a face direita a mais prejudicada embora todos os exaustores estivesse em funcionamento neste horário do dia, indicando a necessidade de nebulização intensificada na face direita, apresentando variação de 6,00 °C, o que denota um ambiente com controle inadequado da

temperatura. O aviário do tipo DH (Figura 56 b) apresentou temperatura mais amena na face direita e mais elevada na face esquerda denotando a influência do ambiente externo no interno e também deficiência no painel evaporativo localizado na face esquerda, que poderia não estar recebendo a quantidade de água necessária (rajadas de ar auxiliam na perda da eficiência, pelo deslocamento do ar), vinda dos nebulizadores, para umedecer o tijolo cerâmico e auxiliar no resfriamento do ar de entrada.

A Figura 56 (c) apresentou que o aviário DWH oferece deficiência no conjunto de exaustores acionados, os quais não foram suficientes em renovar e resfriar o ar localizado no canto superior direito da imagem, e também essas diferenças de temperaturas podem ocasionar desuniformidade no lote. O aviário SW (Figura 56 d) apresenta temperaturas mais amenas no centro do aviário e em todo o comprimento longitudinal, indicando que o sistema de resfriamento foi capaz de melhorar as condições térmicas em relação ao ar que entra através do painel evaporativo na face oposta aos exaustores, entretanto a pressão não foi suficiente para resfriar o ar próximo aos exaustores, o que é uma característica do sistema tipo túnel e a resistência ao fluxo do ar é observada nas temperaturas mais elevadas nas laterais do aviário. Os aviários BH, DH, DWH e SW apresentaram variação pelo método da krigagem igual à 6,00 °C, 2,80 °C, 2,00 °C e 3,20°C, respectivamente.

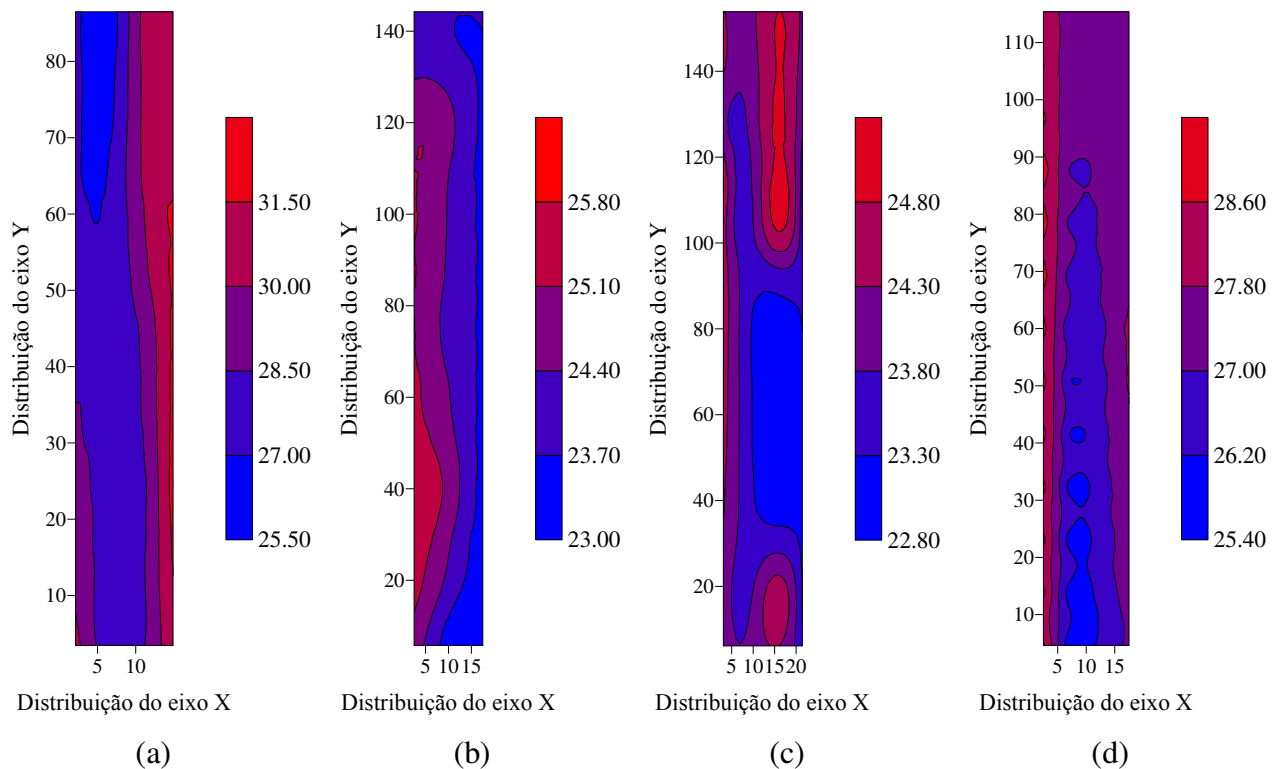


Figura 56. Mapas de krigagem para a variável de temperatura de bulbo seco nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 35 dias de idade das aves.

A partir da Figura 57 (a) foi possível observar que o aviário BH apresentou temperatura mais amena próximo às entradas de ar e mais elevadas próximo às saídas de ar, próprio do sistema de ventilação tipo túnel, o que indica também que poderia ser intensificado a nebulização do meio do aviário até à saída de ar através dos exaustores, uma vez que no momento da coleta de dados a umidade relativa estava próxima do valor de 50%. O aviário DH (Figura 57 b) apresentou distribuição mais homogênea da temperatura e que mais uma vez foi observada temperatura mais elevada nas laterais pela resistência da superfície em relação ao fluxo de ar e também as condições externas influenciando nas internas. A Figura 57 (c) apresenta a distribuição da temperatura no aviário DWH o qual teve resultados semelhantes ao DH. O sistema de resfriamento do aviário SW (Figura 57 d) apresentou eficiência, uma vez que a temperatura de entrada foi de aproximadamente 23,60 °C e a temperatura externa de aproximadamente 26,00 °C. É possível observar um bolsão de ar com valor entre 25,40 e 26,30 °C no localizado no centro do galpão à direita, remetendo dificuldade na renovação do ar

próximo às faces laterais. Os aviários BH, DH, DWH e SW apresentaram variação pelo método da krigagem igual à 0,08 °C, 2,40 °C, 3,60 °C e 3,80°C, respectivamente.

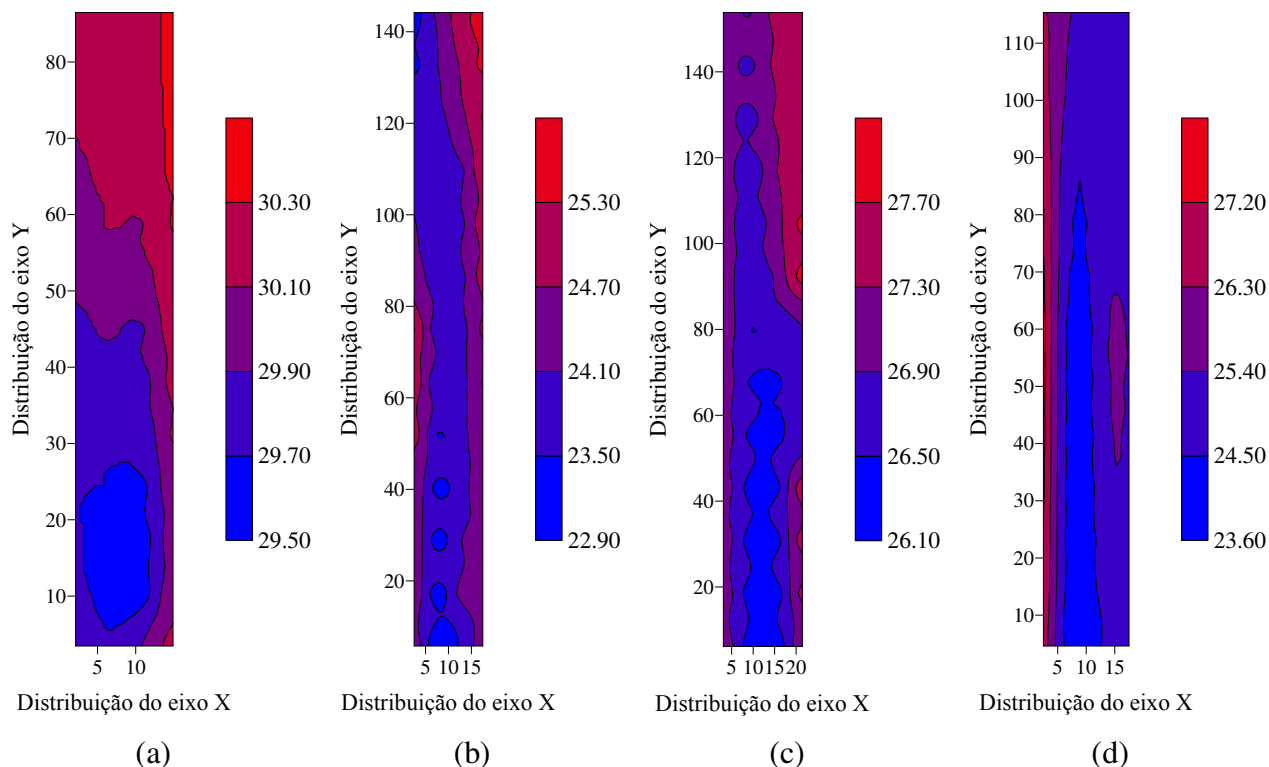


Figura 57. Mapas de krigagem para a variável de temperatura de bulbo seco nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 42 dias de idade das aves.

A distribuição da umidade relativa ilustrada na Figura 58 indica que os maiores níveis de umidade estiveram à direita no aviário BH (Figura 58 a) indicando que a abertura das cortinas auxiliou no direcionamento da umidade produzida pelo acionamento dos nebulizadores para à direita, de forma análoga à temperatura. O aviário DH (Figura 58 b) apresentou menores níveis de umidade próxima ao painel evaporativo posicionado na face oposta aos exaustores e o acionamento dos nebulizadores no interior do aviário, assim como a própria produção de vapor de água pelas aves contribuiu para níveis maiores, próximo à lateral direita e o encaminhamento desta até os exaustores, para posterior saída do ar.

O aviário DWH (Figura 58 c) apresentou maiores níveis de umidade na entrada de ar em função do ganho de umidade no ar através dos painéis evaporativos, sendo que a face direita

apresentou níveis menores de umidade, onde ocorreu temperatura mais elevada. O aviário SW (Figura 58 d) apresentou umidade relativa com distribuição mais heterogênea, sendo que nas entradas de ar e próximo aos exaustores os níveis foram maiores.

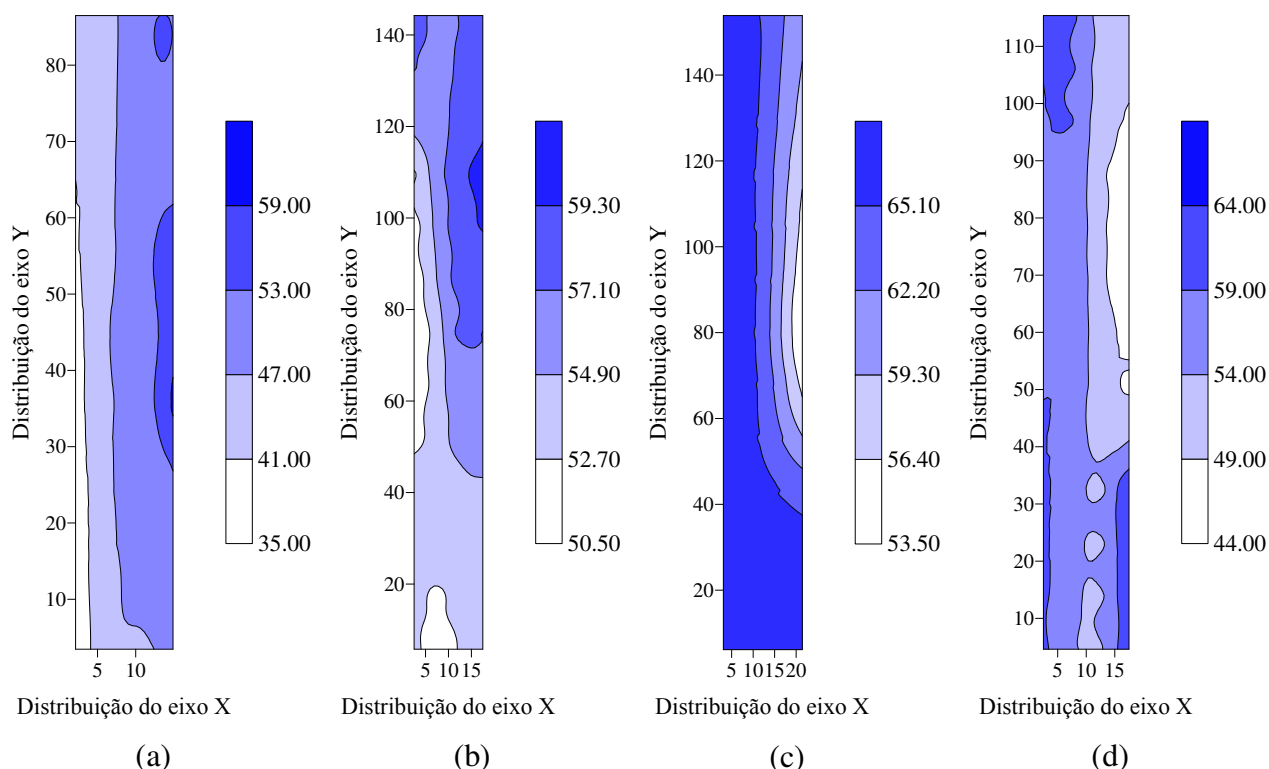


Figura 58. Mapas de krigagem para a variável de umidade relativa nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 21 dias de idade das aves.

O aviário BH (Figura 59 a) apresentou maiores níveis de umidade na face direita, enquanto que a face esquerda apresentou menores, inversamente proporcional à Figura 55. O aviário DH (Figura 59 b) apresentou valores maiores próximos às entradas de ar laterais através do painel evaporativo, como esperado, e sua diminuição em direção aos exaustores, indicando o funcionamento do sistema de ventilação tipo túnel. O aviário DWH (Figura 59 c) apresentou maiores níveis de umidade relativa próximo aos exaustores e também mais concentrado à direita em função do acionamento do sistema de nebulização e também do vapor de água produzido pelas aves para o auxílio de troca de calor. Enquanto os níveis de umidade foram maiores próximos aos exaustores em função do encaminhamento da umidade em direção aos exaustores,

fruto do sistema de nebulização e da respiração das aves no aviário SW (Figura 59 d) o qual apresenta o sistema de ventilação adequado, pela movimentação do ar em direção aos exaustores.

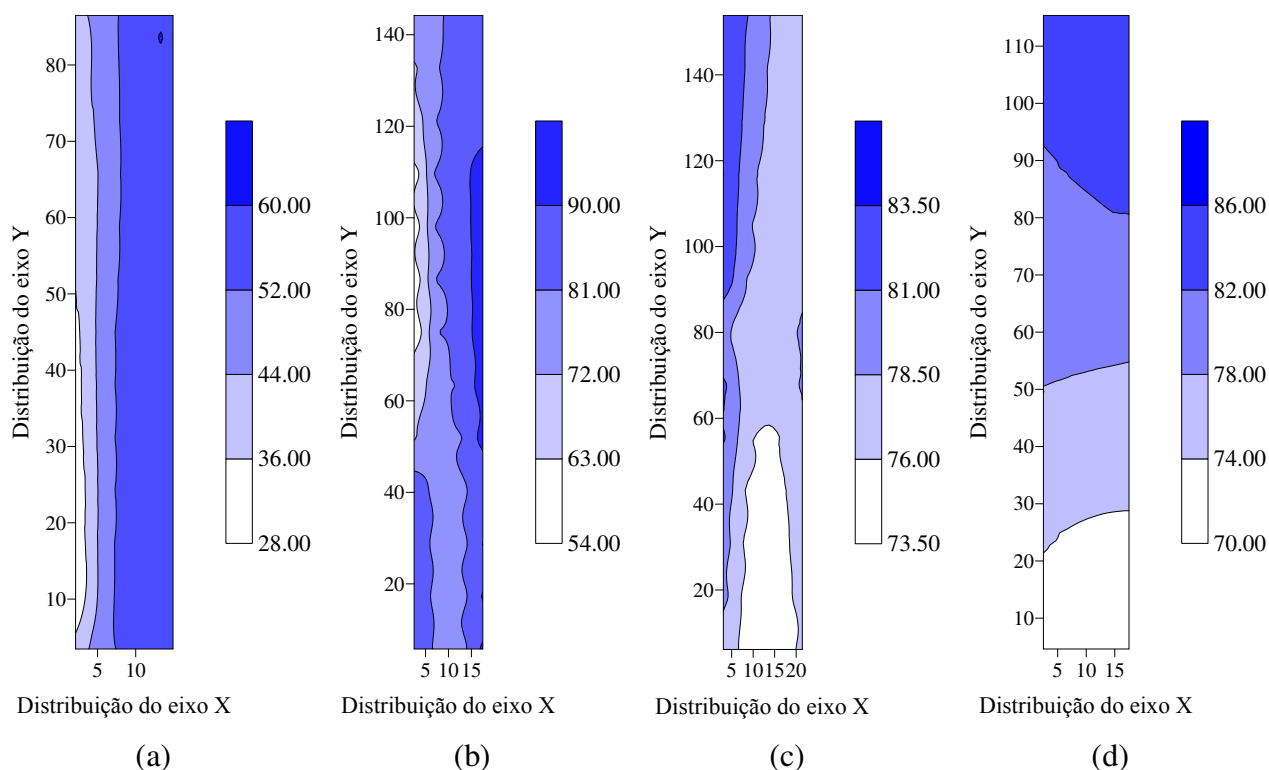


Figura 59. Mapas de krigagem para a variável de umidade relativa nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 28 dias de idade das aves.

O aviário BH (Figura 60 a) apresentou maiores níveis de umidade relativa próximo aos exaustores, apresentando o carregamento desta até às saídas de ar, enquanto o aviário DH apresentou resultados semelhantes, entretanto, é possível observar na Figura 57 (b) que o painel evaporativo localizado na face oposta aos exaustores não estava em funcionamento com o objetivo de resfriar o ar como é observado nos painel evaporativos laterais com o objetivo de não aumentar ainda mais os níveis de umidade no interior do galpão de frango de corte. O aviário DWH (Figura 50 c) apresentou maiores valores de umidade relativa próximo aos exaustores indicando o encaminhamento do ar para fora do aviário e, os menores níveis próximo à lateral direita. O aviário SW apresentou níveis de umidade relativa entre 82,00 e 84,50% na direção longitudinal do galpão, relativo ao ar de entrada através do painel evaporativo e no canto superior

direiro, em função de não haver exaustores instalados neste setor do aviário desenvolvendo área de baixa troca de ar, diante disso, é recomendado que trabalhe com pressões mais altas a fim de renovar de maneira mais eficiente o ar no interior do aviário.

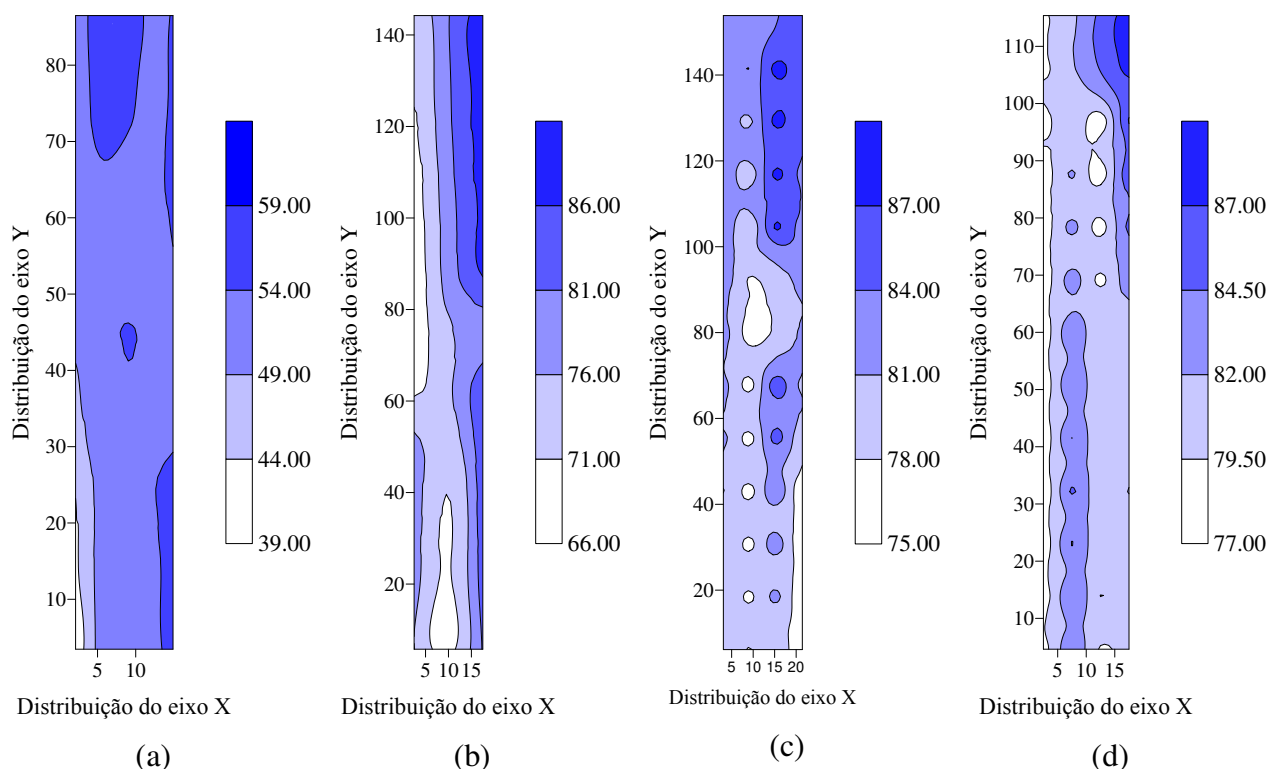


Figura 60. Mapas de krigagem para a variável de umidade relativa nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 35 dias de idade das aves.

A distribuição da umidade relativa no aviário representada na Figura 61 (a) para o aviário BH possibilita a visualização de maiores níveis próxima à lateral direita, em função do sistema de nebulização na entrada de ar e em toda a área do galpão, o que pode estar mais intensificada nesta região, entretanto, não atingiu níveis adequados à criação de aves. De maneira semelhante ocorreu a distribuição para o aviário DH (Figura 61 b), entretanto, os níveis estiveram muito além (entre 75 e 87%), e as entradas de ar era realizada por meio de painel evaporativos o que auxilia no aumento do nível de umidade nesta região. O aviário DWH apresentou níveis maiores de umidade próximos aos exaustores na extremidade esquerda e, é possível observar maiores valores próximo às entradas de ar pelo painel evaporativo (Figura 61 c). E o aviário SW (Figura 61 d)

apresenta os maiores níveis de umidade próximos às entradas e saídas de ar em função do ganho de umidade nos painéis evaporativos e, à concentração de umidade das saídas de ar em função do ganho em relação aos nebulizadores e à respiração das aves.

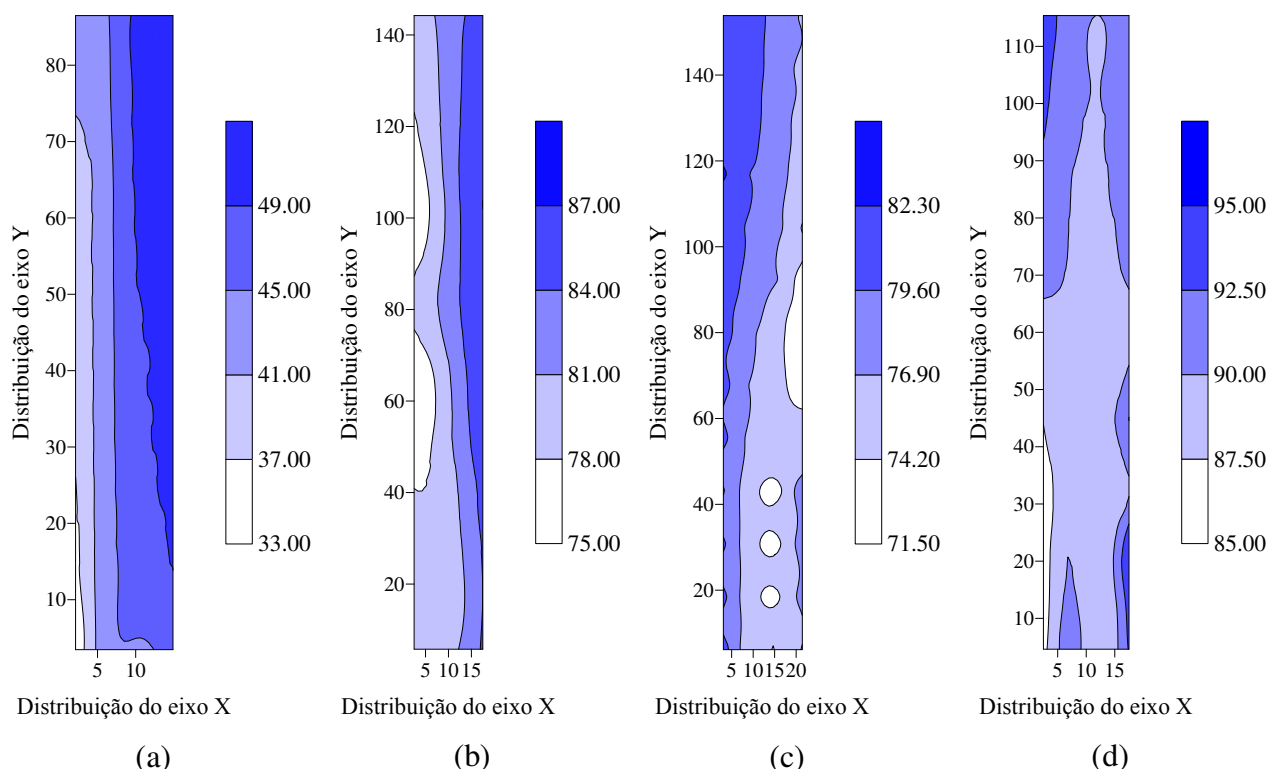


Figura 61. Mapas de krigagem para a variável de umidade relativa nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 42 dias de idade das aves.

O aviário BH (Figura 62 a) apresentou nas regiões centrais valores acima dos considerados ideais à produção de frango de corte ($1,55 \text{ m s}^{-1}$), com regiões próximas às laterais direita e esquerda com valores baixos em função da resistência que a superfície produz ao fluxo de ar. Para o aviário DH (Figura 62 b) ocorreram maiores valores no centro próximo às entradas de ar do aviário, o que remete uma área de turbulência por ser região com encontro de ar das 3 entradas de ar através do painel evaporativo. O aviário DWH (Figura 62 c) apresentou pontos com maiores velocidade de ar no centro do galpão e, regiões próximas aos exaustores e em todo o comprimento do galpão com valores entre $1,10$ e $1,30 \text{ m s}^{-1}$. Enquanto que o aviário SW (Figura 62 d) apresentou valores próximo às $0,10 \text{ m s}^{-1}$ no canto inferior direito o que indica uma região

sem trocas de ar, e regiões com valores maiores próximos aos exaustores localizados no centro do galpão.

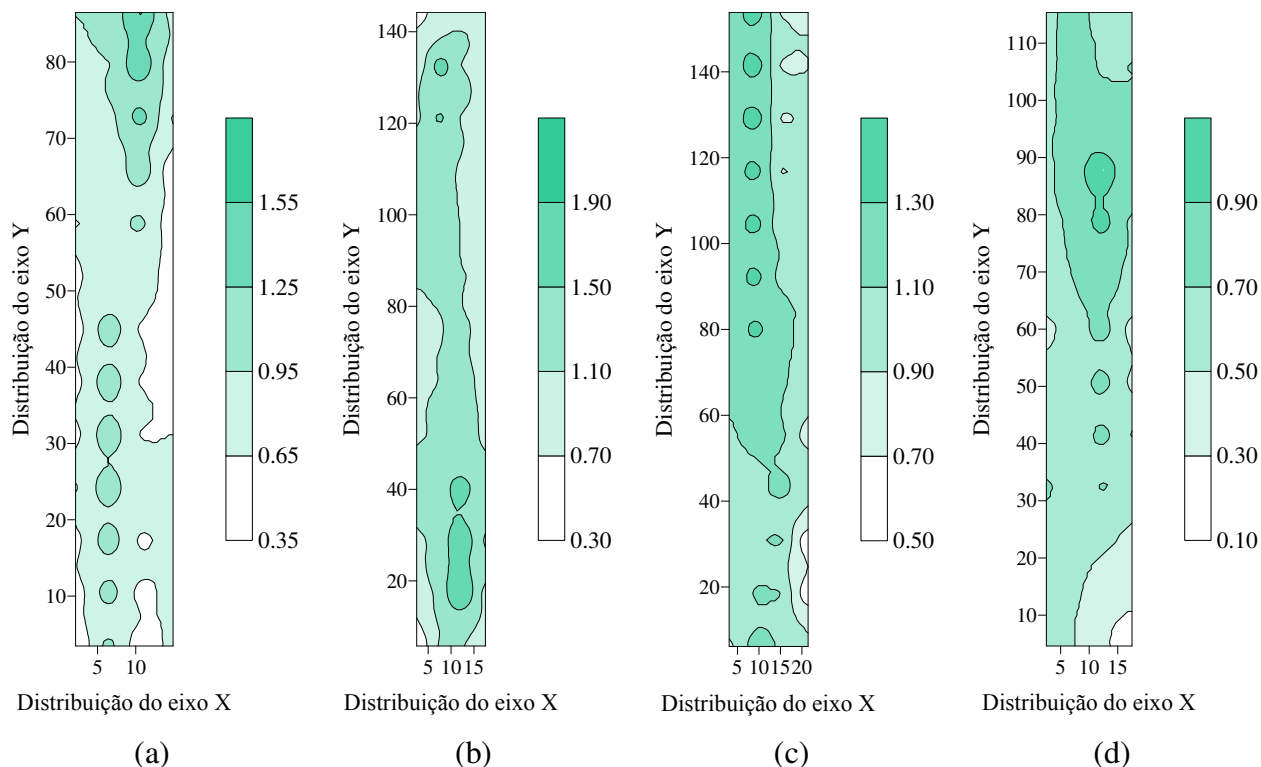


Figura 62. Mapas de krigagem para a variável de velocidade do ar nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 21 dias de idade das aves.

A entrada de ar apresentou valores entre 2,20 e 2,40 m s^{-1} para o aviário *Blue House* (Figura 63 a) os quais auxiliara, na troca de ar no interior do aviário, menores valores de velocidade de ar próximo às laterais ocorreram, como esperado, pelo atrito que as superfícies oferecem ao fluxo de ar. O aviário *Dark House* (Figura 63 b) mais uma vez apresentou turbilhonamento do ar entre as entradas de ar e apresentou regiões com baixos valores de velocidade do ar conhecidos como “regiões mortas” – regiões de baixa renovação de ar. Resultados semelhantes ocorreram para a distribuição da velocidade do ar no aviário *Double Wide House* (Figura 63 c), o qual apresentou valores elevados no canto superior direito próximo aos exaustores. O aviário *Solid Wall* (Figura 63 d) apresentou valores elevados no centro do

aviário em toda a sua extensão, sendo que houve maiores valores próximo às entradas de ar e menores valores na face frontal em função dos exaustores laterais apenas estarem acionados.

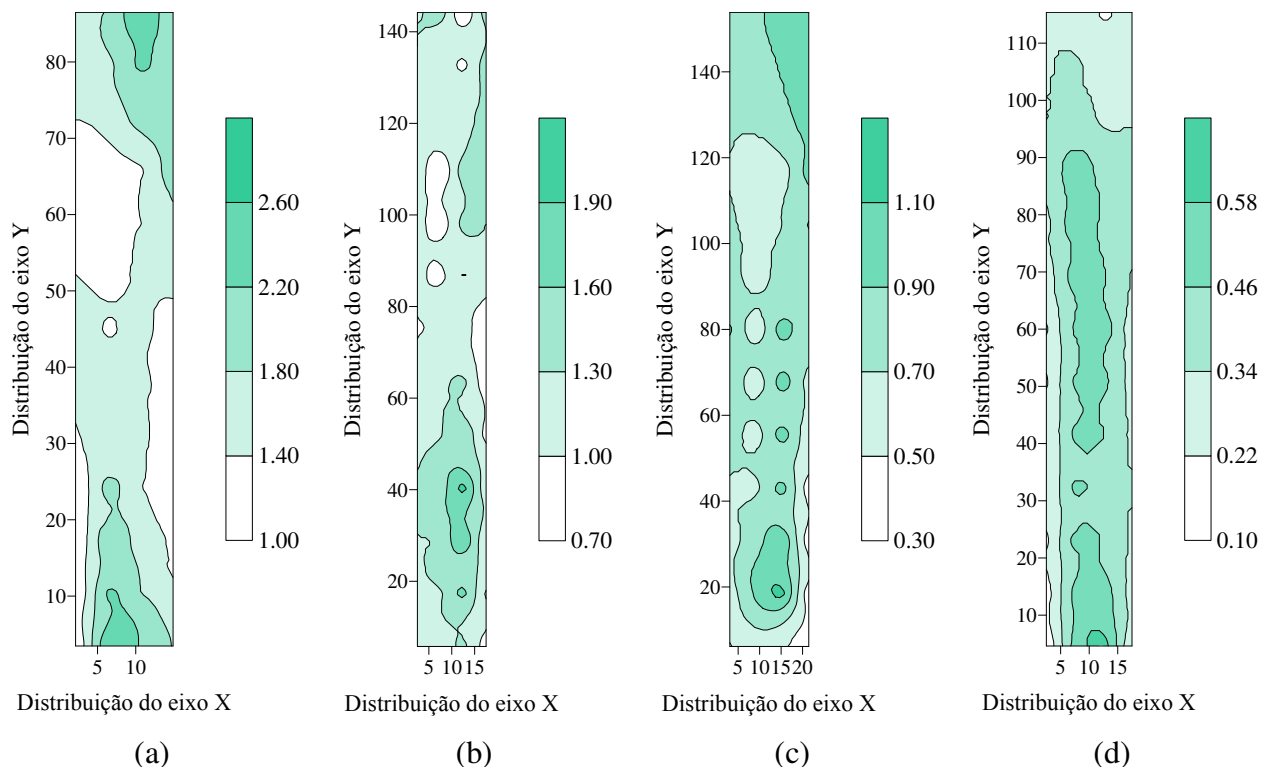


Figura 63. Mapas de krigagem para a variável de velocidade do ar nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 28 dias de idade das aves.

A velocidade do ar na entrada do galpão BH (Figura 64 a) se mostrou próxima de $0,60 \text{ m s}^{-1}$, dificultando a perda de calor nas aves presentes nesta região, no entanto nas saídas de ar a velocidade esteve entre $1,35$ e $1,40 \text{ m s}^{-1}$, o que auxilia a perda de calor das aves, uma vez que está região também apresenou maiores temperaturas. O aviário DH (Figura 64 b) apresentou pontos com baixa renovação próximos às entradas de ar laterais, enquanto que entre elas houve uma região de turbulência com valores entre $1,40$ e $1,80 \text{ m s}^{-1}$, a velocidade do ar elevada próximo aos exaustores também foi observada para o DH e o aviário DWH (Figura 64 c). Enquanto o aviário SW (Figura 64 d) apresentou velocidade mais acentuadas na entrada de ar na face oposta aos exaustores e próximo às saídas de ar do lado direito apresentou valores entre $0,40$ e $0,70 \text{ m s}^{-1}$, o que pode ser explicado pela proximidade com a superfície da parede.

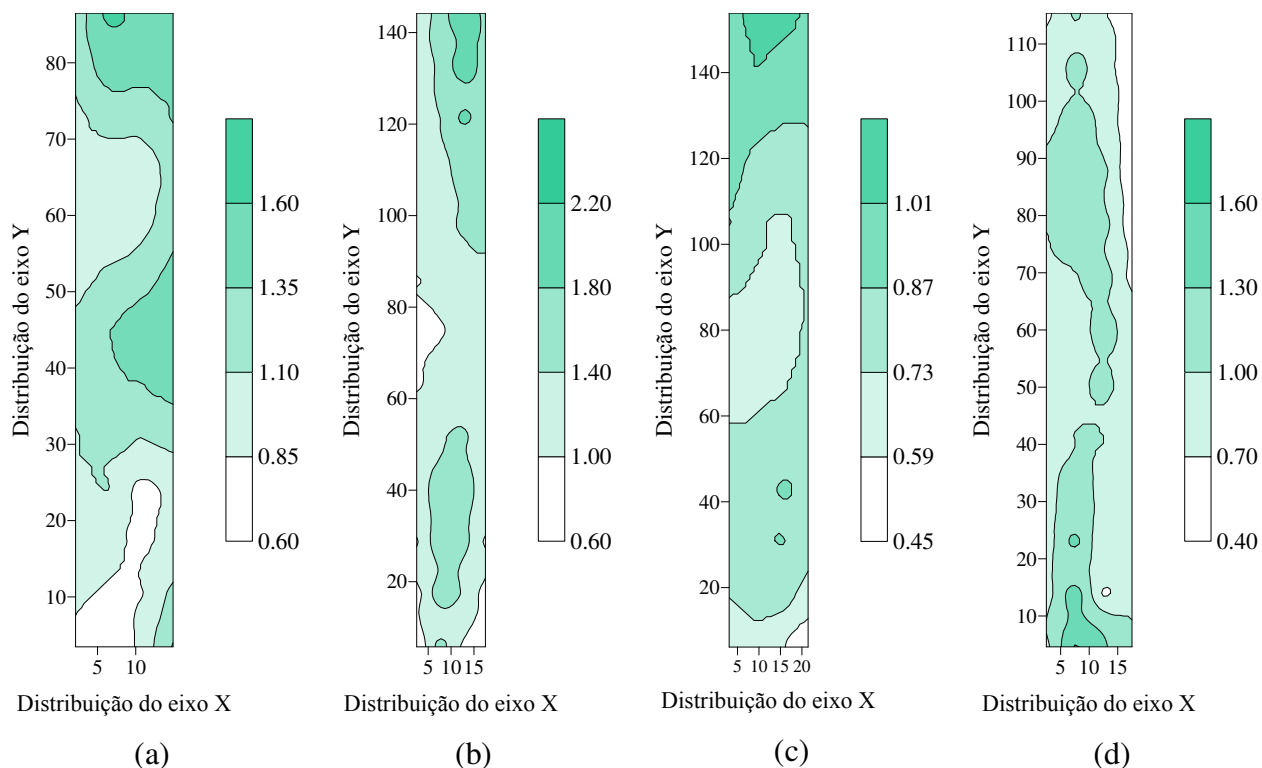


Figura 64. Mapas de krigagem para a variável de velocidade do ar nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 35 dias de idade das aves.

A velocidade do ar apresentou-se com valores maiores na entrada de ar localizada na face oposta aos exaustores para o aviário DH (Figura 65 b) e SW (Figura 65 d), o valor de aproximadamente $1,50 \text{ m s}^{-1}$ continuou no centro do aviário à metade da edificação. Enquanto o aviário DWH (Figura 65 c) e o SW apresentaram menores valores próximos aos exaustores e, valores maiores foram observados no canto superior direito para o BH (Figura 65 a) e DH, ambos com funcionamento dos exaustores nas extremidades da face principal dos exaustores.

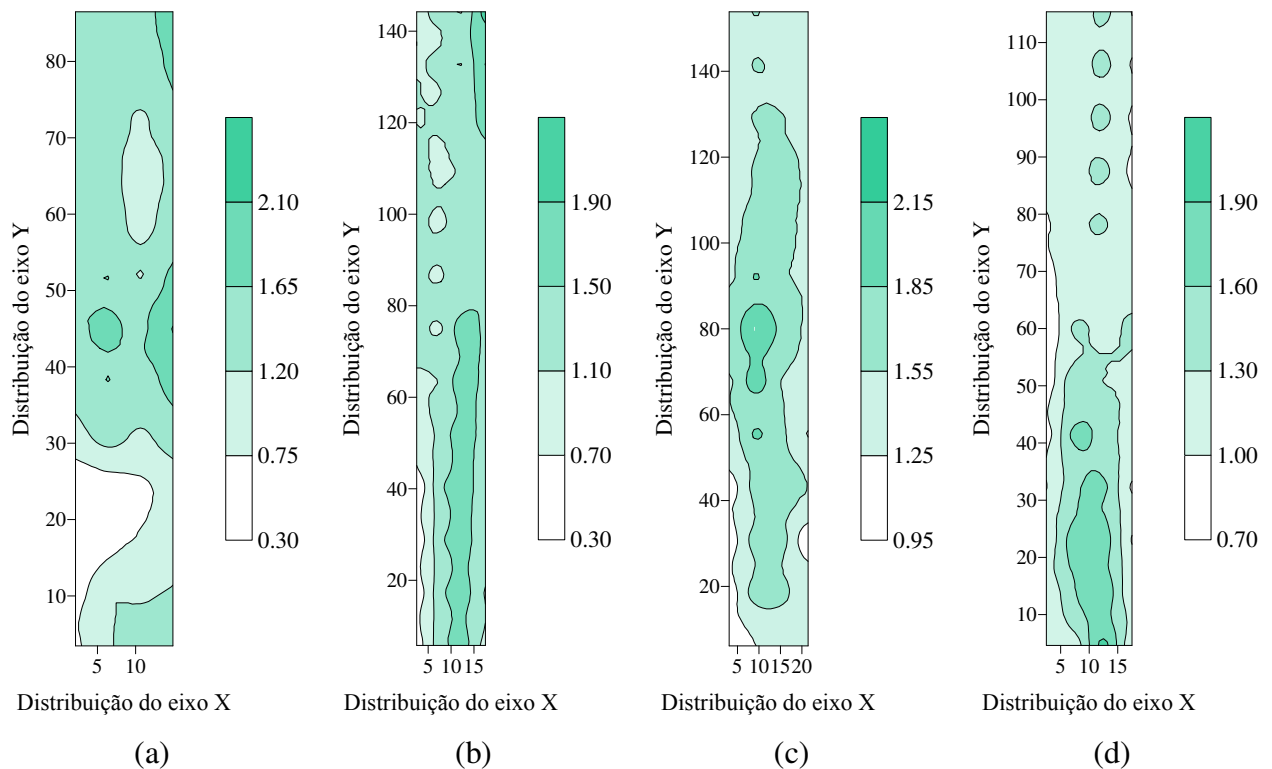


Figura 65. Mapas de krigagem para a variável de velocidade do ar nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 42 dias de idade das aves.

O aviário BH (Figura 66 a) apresentou maiores valores de concentração de CO_2 no canto superior direito, pela baixa vazão, enquanto a maior parte da área do galpão apresentou concentração entre 0 e 40 ppm. Os aviários DH (Figura 66 b), DWH (Figura 66 c) e SW (Figura 66 d) apresentaram concentrações maiores próximos aos exaustores, indicando sistema de ventilação adequado para a renovação de ar, resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho et al. (2012) o qual com a intensificação do sistema de ventilação para aves com mais idade apresenta as concentrações maiores próximo aos exaustores em função do arraste.

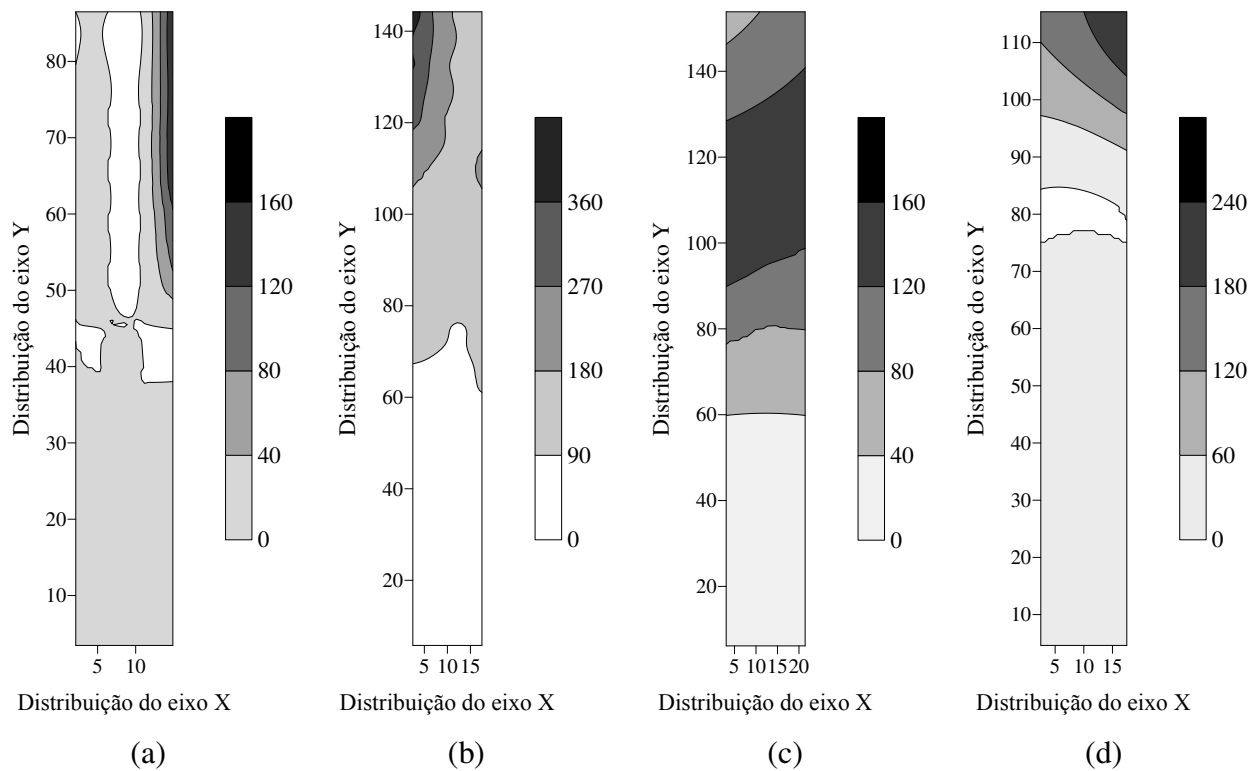


Figura 66. Mapas de krigagem para a variável de concentração de dióxido de carbono nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 21 dias de idade das aves.

As Figuras 67 a, b, c e d apresentam a distribuição da concentração de dióxido de carbono para os aviários *Blue House*, *Dark House*, *Double Wide House* e *Solid Wall*, respectivamente. É possível observar que todos os aviários apresentaram concentrações maiores próximos aos exaustores, enquanto as laterais influenciaram no fluxo de ar pela resistência entre o ar e as cortinas e as paredes para o aviário DWH e SW, respectivamente.

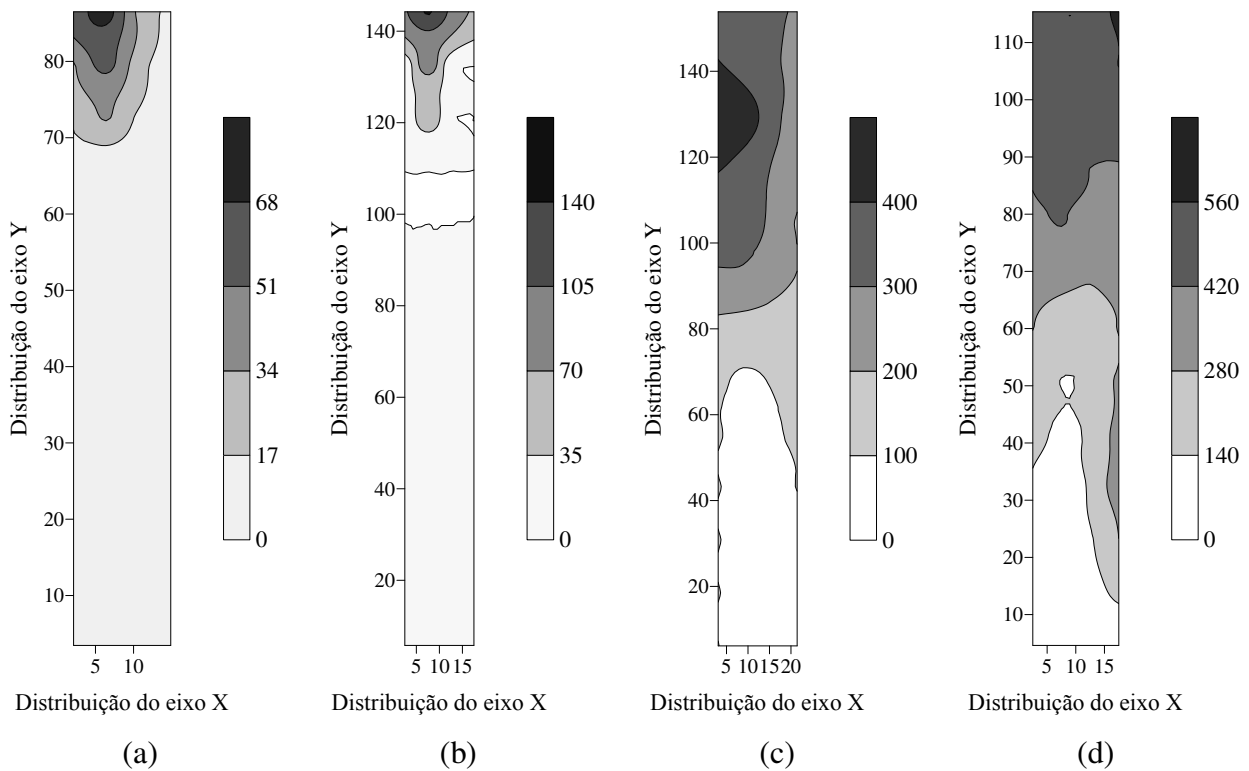


Figura 67. Mapas de krigagem para a variável de concentração de dióxido de carbono nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 28 dias de idade das aves.

Resultados semelhantes relativo ao aviário BH foram observados nos aviários DH, DWH e SW, respectivamente (Figura 68). Enquanto que o aviário BH (Figura 68 a) apresentou deficiência no sistema de exaustão, não sendo capaz de succionar o ar e expulsá-lo da instalação, desta forma, as concentrações maiores de dióxido de carbono permaneceram no interior do galpão, mais especificamente nas entradas de ar e no centro do aviário.

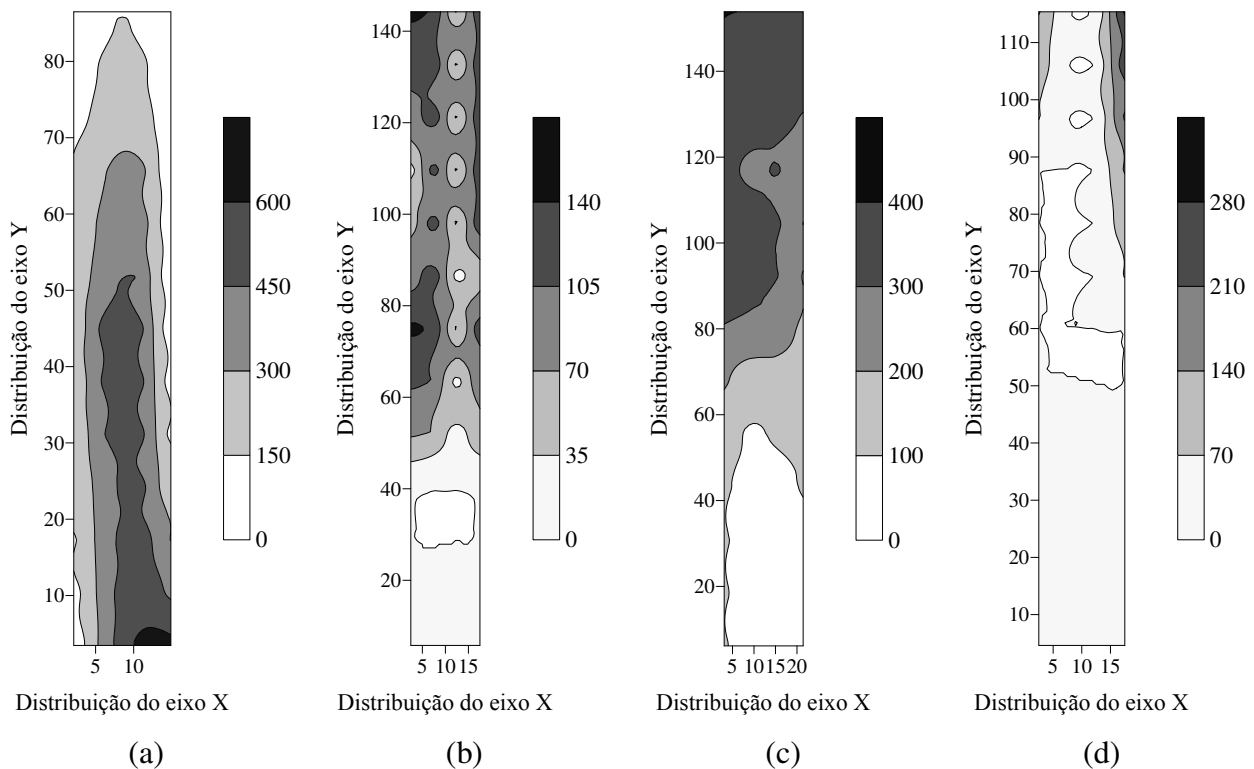


Figura 68. Mapas de krigagem para a variável de concentração de dióxido de carbono nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 35 dias de idade das aves.

As Figuras 69 a, b, c e d apresentam a distribuição da concentração de dióxido de carbono para os aviários BH, DH, DWH e SW, respectivamente. Foi possível observar que todos os aviários apresentaram concentrações maiores próximos aos exaustores, enquanto que as laterais influenciaram no fluxo de ar pela resistência entre o ar e as cortinas e as paredes para o aviário DH, DWH e SW, respectivamente. Esse resultado pode ser justificado também pela densidade do ar ser maior, uma vez que aves com 42 dias de idade tendem a produzir maior vapor d'água e o uso mais intensificado dos sistemas de resfriamento (painel evaporativo) auxiliaram no ganho de umidade no ar dificultando a renovação.

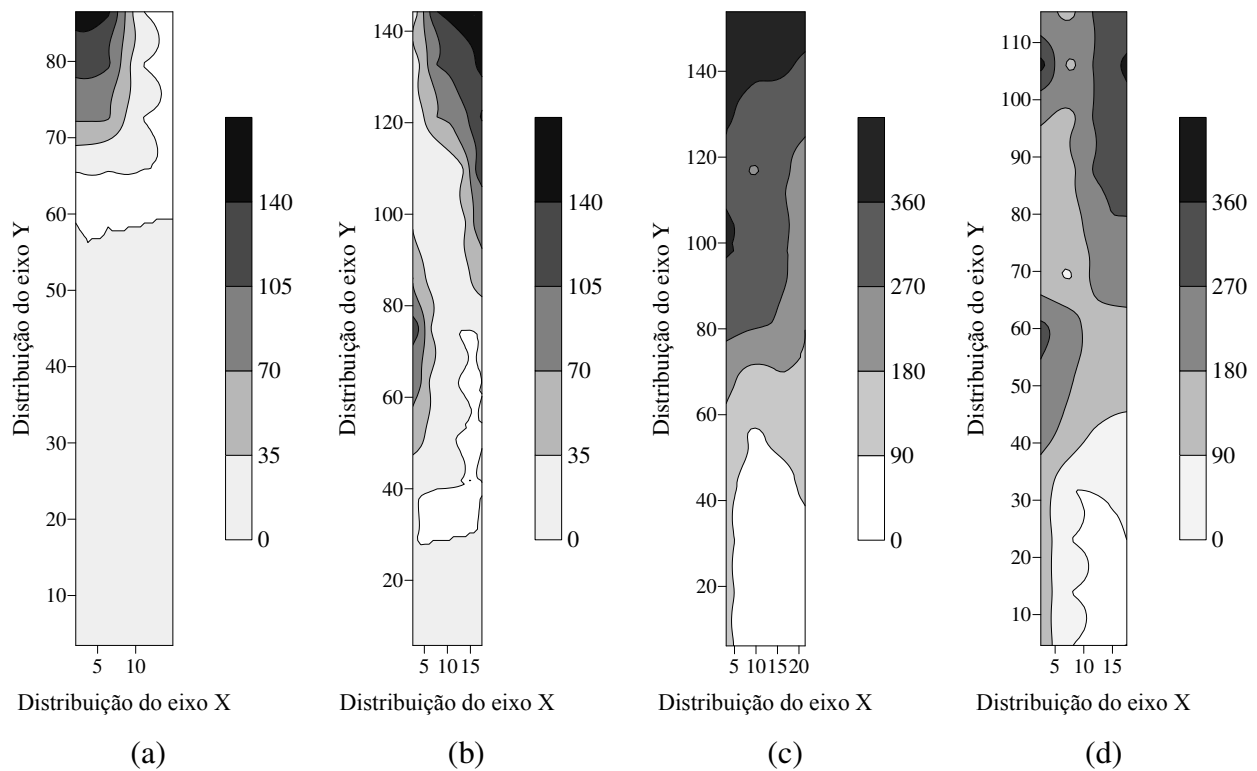


Figura 69. Mapas de krigagem para a variável de concentração de dióxido de carbono nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 42 dias de idade das aves.

A concentração de amônia, de forma semelhante em relação à concentração de CO_2 , apresentou os valores maiores próximos aos exaustores devido ao arraste do ar em todo o comprimento do aviário, também é possível observar que há concentrações menores nas entradas de ar (Figura 70).

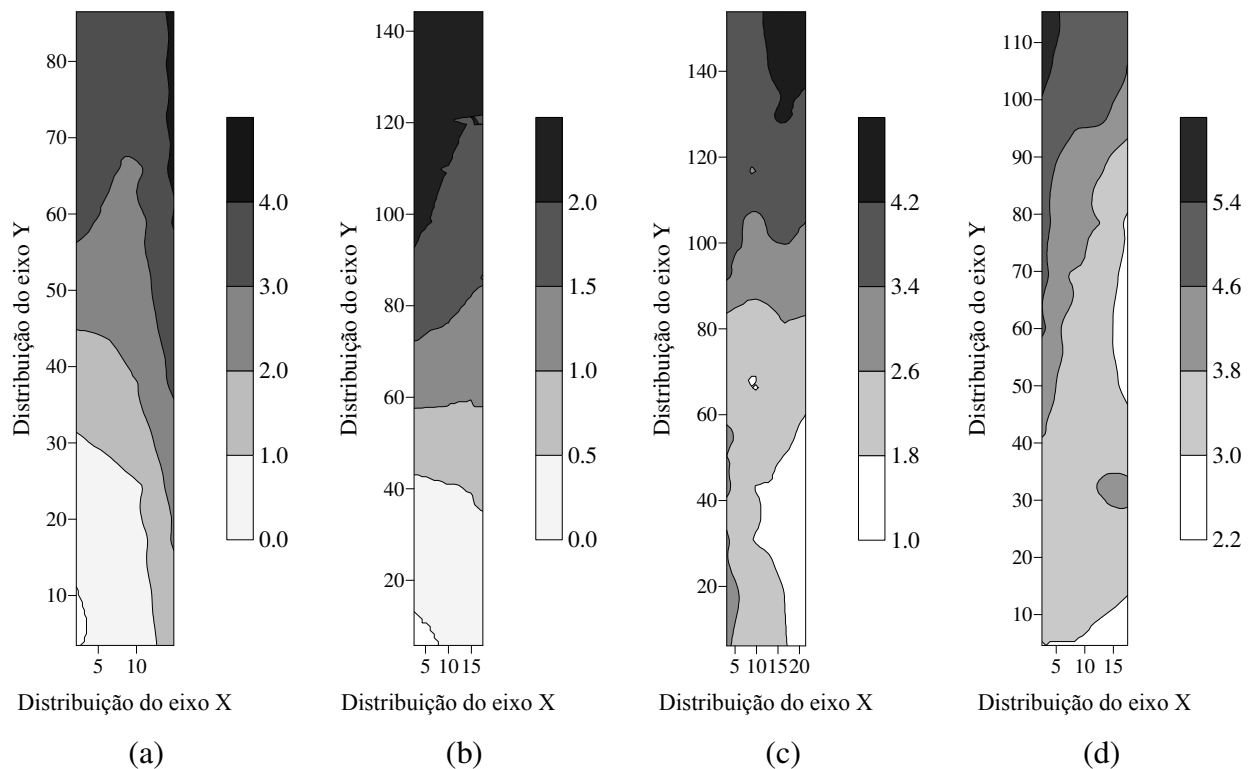


Figura 70. Mapas de krigagem para a variável de concentração de amônia nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 21 dias de idade das aves.

A Figura 71 apresenta a concentração de amônia no interior dos diferentes aviários estudados, o qual se apresentou em maior concentração próximo aos exaustores em função do arraste. Os aviários DH, DWH e SW apresentaram valores próximos à 0 m s^{-1} nas entradas de ar, e também o arraste da amônia em direção dos exaustores. Sendo que no aviário DH é possível observar a resistência das superfícies laterais que dificultam o arraste, neste caso na lateral direita, para o DWH e SW na lateral esquerda.

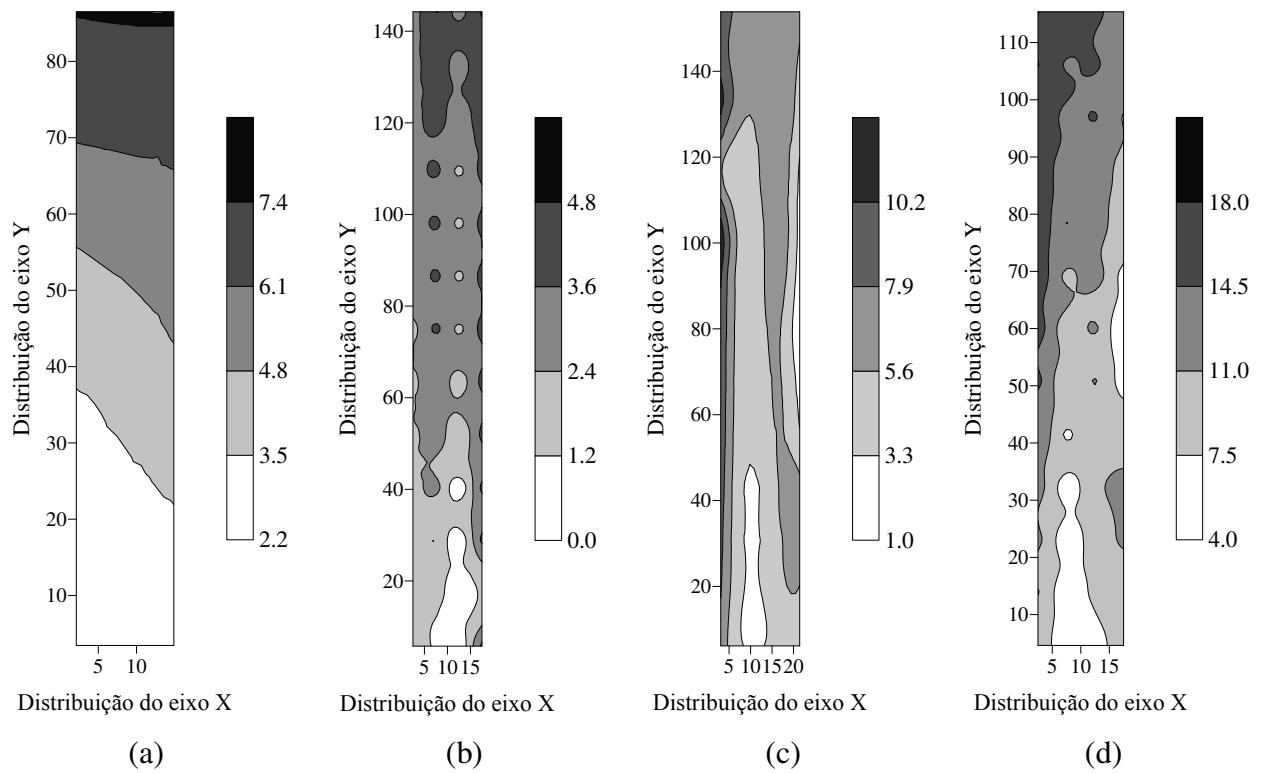


Figura 71. Mapas de krigagem para a variável de concentração de amônia nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 28 dias de idade das aves.

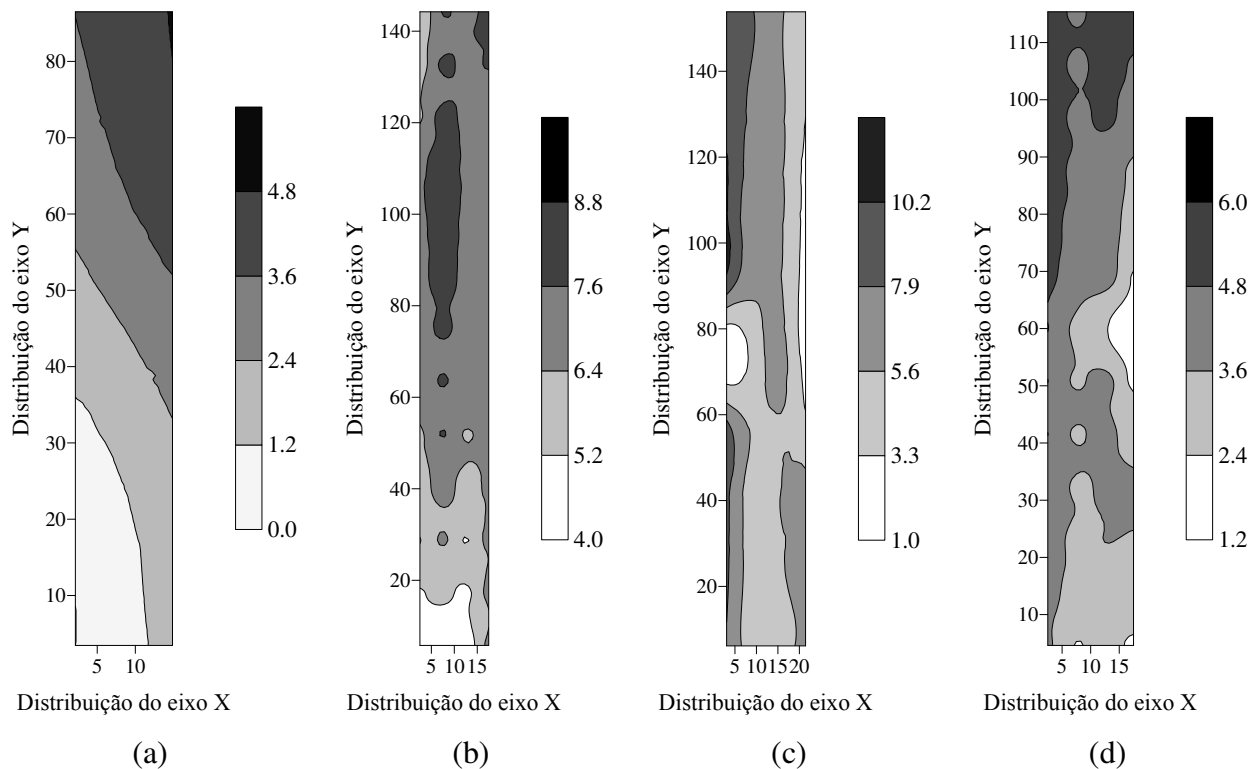


Figura 72. Mapas de krigagem para a variável de concentração de amônia nos aviários Blue House (a), Dark House (b), Double Wide House (c) e Solid Wall (d) no período do verão às 14h00min, aos 35 dias de idade das aves.

As Figuras 73 a, b, c e d apresentam a distribuição da concentração de amônia para os aviários *Blue House*, *Dark House*, *Double Wide House* e *Solid Wall*, respectivamente. É possível observar que todos os aviários apresentaram concentrações maiores próximos aos exaustores. Para o aviário BH (Figura 73 a e Figura 74 a) foram observados resultados semelhantes com aves aos 35 e 42 dias de idade, com o fluxo de ar contendo amônia em direção aos exaustores de forma contínua. O aviário DH apresentou um bolsão contendo concentrações maiores indicando sistema de ventilação com necessidade de intensificação, uma vez que para o mesmo aviário na Figura 74 (b) é possível observar como deveria ser o fluxo. O galpão DWH apresentou concentrações menores próximos à porta (centro da lateral esquerda), observado na Figura 73 e 74 (c). O aviário SW com o sistema intensificado para as aves aos 42 dias de idade apresentou menores concentrações de amônia (zero ppm) nas entradas de ar. Como a concentração de amônia apresenta alta correlação com a umidade relativa e, os aviários com níveis mais altos de umidade foram o DH, DWH e SW, é explicado o comportamento semelhante de

encaminhamento do ar até os exaustores de forma mais pesada comparado com o aviário do tipo BH.

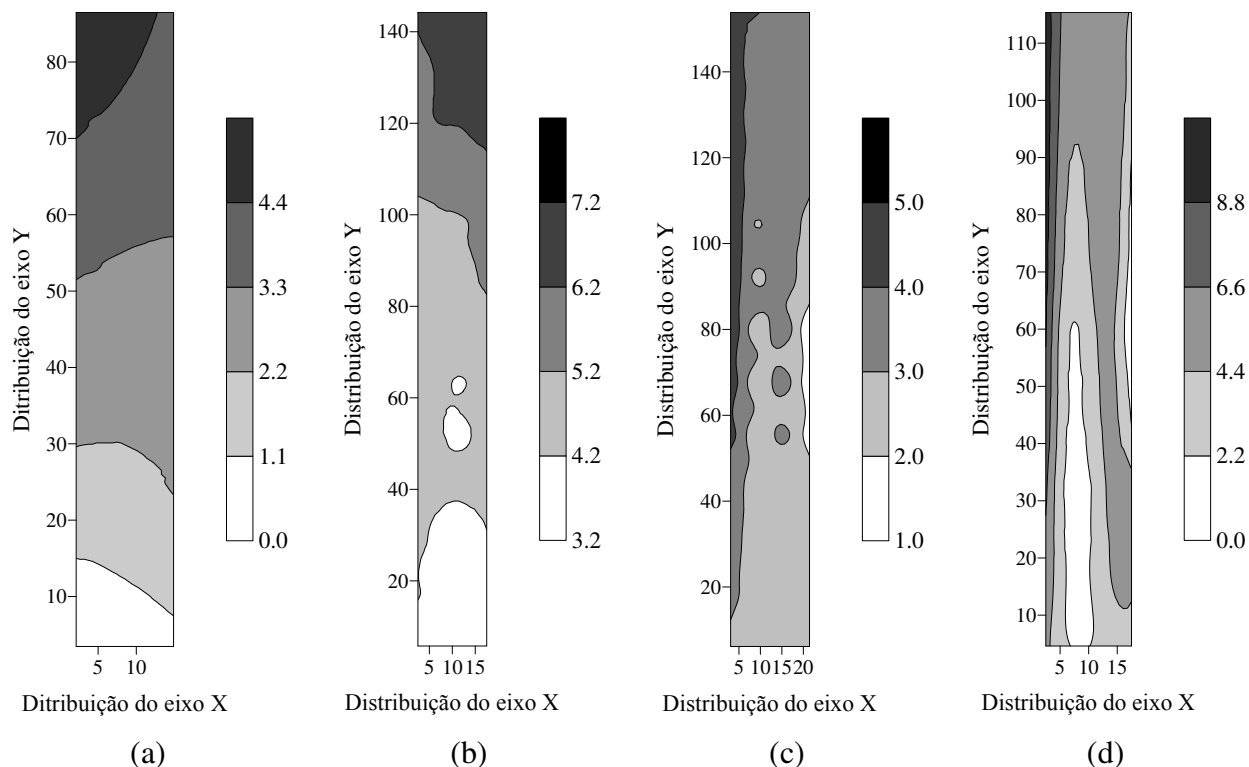


Figura 73. Mapas de krigagem para a variável de concentração de amônia nos aviários *Blue House* (a), *Dark House* (b), *Double Wide House* (c) e *Solid Wall* (d) no período do verão às 14h00min, aos 42 dias de idade das aves.

5.3.1 Considerações finais dos resultados do mapeamento das condições ambientais

Os mapas com a apresentação da distribuição das variáveis são uma contribuição para o entendimento do comportamento das mesmas no interior das instalações em função do manejo do sistema de ventilação e resfriamento utilizado no momento do registro dos dados. Os mapas com a distribuição da temperatura de bulbo seco apresentaram valores mais amenos no centro do aviário e valores mais altos próximo às faces o que pode ser em função do atrito das faces laterais e também do ambiente externo influenciando o ambiente interno e, menores temperaturas próximas às entradas de ar. A umidade relativa foi maior próximo às entradas de ar com uso de painel evaporativo nos aviários e também próximo aos exaustores onde se concentraram maiores

níveis de umidade relativa e concentração de gases. A distribuição da velocidade do ar é mais heterogênea comparado com as outras variáveis estudadas em função do deficiente manejo e controle do sistema de ventilação.

5.4 Alocação de sensores para os aviários estudados

Recentes desenvolvimentos em sensores e métodos modernos como geoestatística e inteligência artificial possibilitaram maior precisão na mensuração de dados e tomada de decisão para um controle efetivo do ambiente em aviários de frangos de corte (CARVALHO et al., 2010). Da mesma forma que a zootecnia de precisão visa atuar nos animais de forma individual em termos de controle, há a necessidade em avaliar o ambiente térmico no interior das instalações setorizadamente ao invés de tomar decisões baseadas em dados de um único sensor ou utilizando valores médios das variáveis ambientais (WATHES et al., 2008). Para otimizar o desempenho em aviários comerciais para produção de frangos de corte, é preciso conhecer o efeito dos parâmetros ambientais e de qualidade do ar no desempenho das aves e consumo de energia a fim de dar suporte ao produtor para tomada de decisões de gestão informadas.

Desta forma, foi realizada a análise do melhor posicionamento dos sensores de temperatura e umidade baseado no Índice de Temperatura e Umidade Relativa (ITU) proposta por Thom (1959) por meio do *software* SANOSw95[®] para determinar 3 pontos no interior do aviário os quais são representativos em relação ao conforto térmico das aves para posicionamento dos sensores de temperatura e umidade relativa para tomada de decisão do controlador, sendo que cada ponto deverá conter um sensor de temperatura e outro sensor de umidade relativa. Segundo Corkery et al. (2013), o qual estudaram o uso de sensores na produção avícola em relação as variáveis de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, CO₂ e NH₃, observaram que a concentração de amônia tem forte correção com os níveis de umidade relativa (o valor de R² oscilou entre 0,86 e 0,92), sendo assim se a umidade relativa se mantiver em níveis adequados, a concentração de amônia também estará em concentrações adequadas.

A Tabela 51 apresenta a análise geoestatística dos dados do Índice de temperatura e umidade para o aviário *Blue House*. Dados estes correspondentes ao período de inverno e verão no horário mais crítico do dia para a produção de frango de corte na fase final de criação, ou seja, às 14h00min. A análise geoestatística foi realizada para entrada dos seus parâmetros no *software* SANOSw95 para ter a saída com os valores das posições dos sensores.

Tabela 51. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para o Índice de Temperatura e Umidade no galpão *Blue House* às 14h00min, nas diferentes idades das aves.

Idade	Período	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
21dias	Inverno	Esférico	0,019	0,295	19,40	6,58%	0,905	2,38E-03
21dias	Verão	Gaussiano	0,001	1,233	14,72	0,08%	0,819	1,62E-01
28dias	Inverno	Gaussiano	0,001	0,632	13,86	0,16%	0,921	1,44E-02
28dias	Verão	Gaussiano	0,001	2,475	15,07	0,04%	0,824	7,89E-01
35dias	Inverno	Gaussiano	0,001	1,955	13,34	0,05%	0,857	2,44E-01
35dias	Verão	Gaussiano	0,010	4,997	13,68	0,20%	0,875	1,74E-00
42dias	Inverno	Esférico	0,649	1,309	37,20	49,58%	0,720	1,26E-01
42dias	Verão	Gaussiano	0,001	0,879	17,49	0,11%	0,835	7,86E-02

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos.

As Tabelas 52 e 53 apresentam a localização dos pontos por meio das coordenadas X e Y dos pontos onde o *software* apontou como pontos representativos das condições ambientais, sendo recomendada a alocação dos sensores de temperatura e umidade para maior controle ambiental, uma vez que os dados registrados pelos sensores servirão de base para tomada à decisão do controlador no manejo do sistema de ventilação. Sendo a Tabela 52 para o período de inverno e a Tabela 53 para o período de verão.

Tabela 52. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário *Blue House* às 14h00min, no período do inverno, nas diferentes idades das aves.

21 dias		28 dias		35 dias		42 dias	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
9,39	48,8	5,61	80,19	14,13	28,49	11,52	64,19
13,01	23,68	5,53	26,28	2,82	60,18	8,74	68,93
14,36	29,62	6,80	26,57	6,92	9,52	13,99	15,07

Tabela 53. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário *Blue House* às 14h00min, no período do verão, nas diferentes idades das aves.

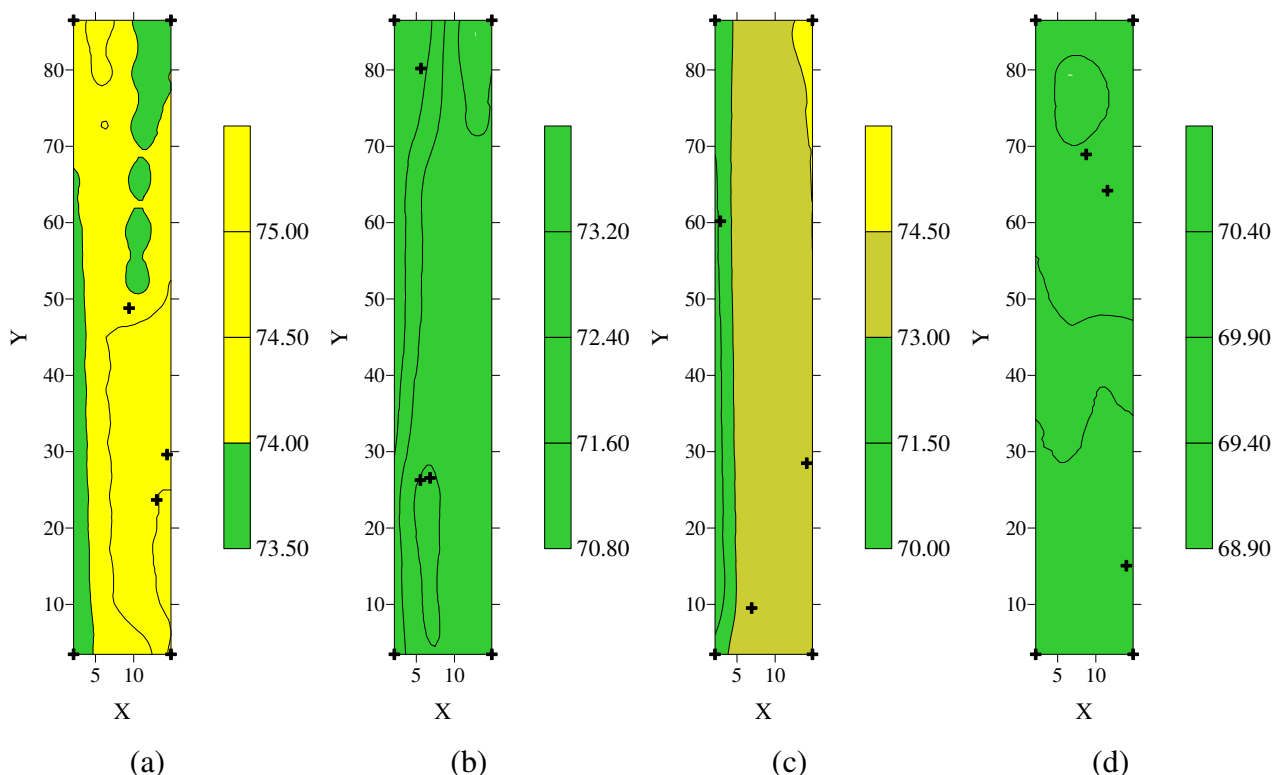
21 dias		28 dias		35 dias		42 dias	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
4,68	36,66	8,31	47,08	6,11	66,45	11,85	43,84
6,68	18,35	8,01	25,14	2,60	27,41	11,16	25,48
11,41	28,07	13,02	59,37	10,78	40,44	2,22	48,69

A distribuição dos dados do ITU para o aviário *Blue House* avaliado no período do inverno e verão está apresentada nas Figuras 74 e 75, respectivamente, no horário mais crítico do dia, ou seja, às 14h00min.

Segundo a classificação de Thom (1959), quando o Índice de Temperatura e Umidade apresenta-se com valores entre 64 e 74 significa que as aves estão sob condição de conforto térmico – ilustrada no mapa de distribuição do ITU pela cor verde, enquanto que valores entre 74 e 78 indicam condição de alerta – ilustrada no mapa de distribuição do ITU pela cor amarela, valores entre 79 e 84 indicam condição de perigo à criação – ilustrada no mapa de distribuição do ITU pela cor vermelha e valores acima de 84 indica situação de emergência – não há cor para esta classificação por não ter nenhum valor nesta condição, as cores oliva e laranja indicam transição entre a condição de conforto para alerta e transição entre a condição de alerta para perigo, respectivamente.

Neste sentido, é possível observar pela Figura 74 (a) que a maior área do galpão esteve submetida à condição de alerta – aproximadamente 54%, enquanto que apenas a área próxima à lateral esquerda e próxima aos exaustores na extremidade direita estava em condição de conforto térmico (aproximadamente 46%). As Figuras 74 (b) e (d) indicam que as aves estavam em conforto térmico (100% de conforto para Figura 74 “b” e “d”) pela associação entre as variáveis climáticas de temperatura e umidade relativa, enquanto que a Figura 74 (c) apresentou a área próxima à lateral esquerda em condição de conforto, sendo a grande maioria da área em condição de transição entre o conforto térmico e o alerta (aproximadamente 35% em condição de alerta e 65 % em condição de conforto). Em relação ao posicionamento dos sensores é possível observar que os três sensores foram alocados na parte que compreendia a condição de alerta na Figura 74

(a), 2 sensores muito próximos na Figura 74 (b), indicando a necessidade de apenas dois sensores nesta condição, e no caso das Figuras 74 (c) e 74 (d) os sensores ficaram bem distribuídos.

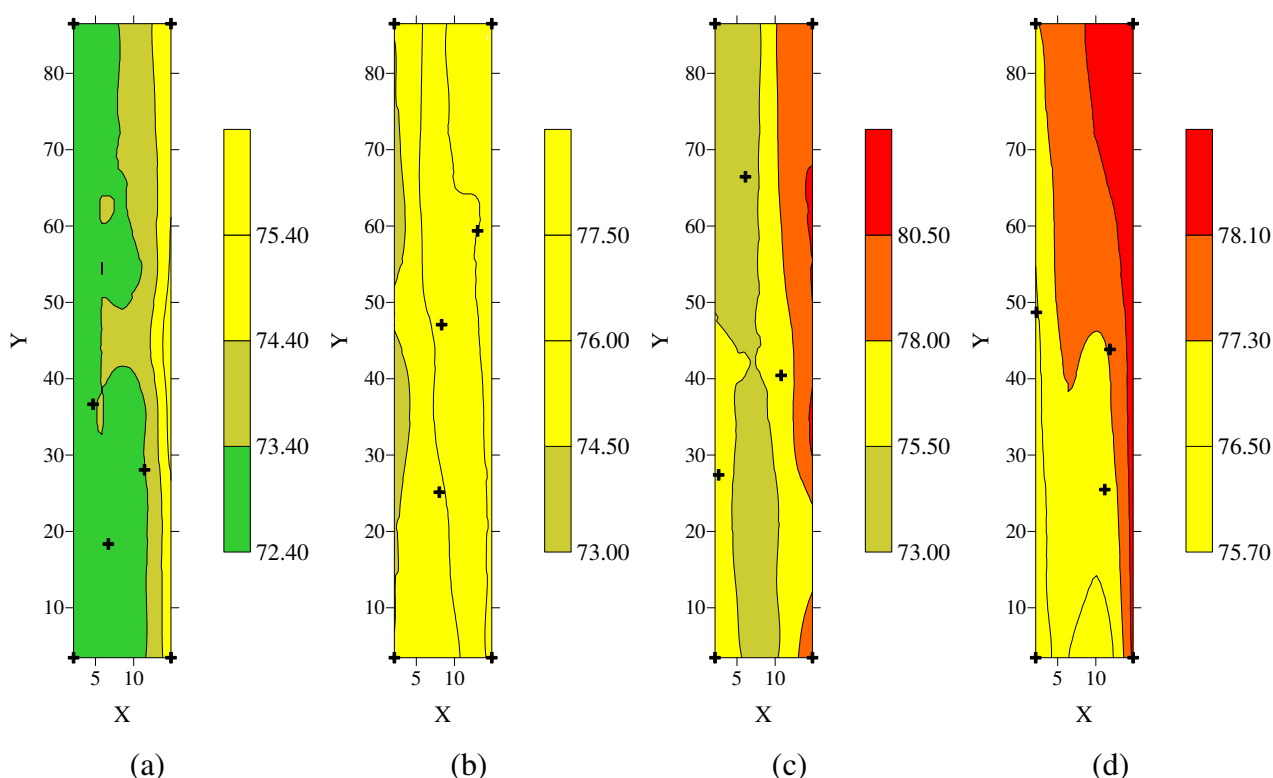


Verde = conforto ($64 < ITU \leq 74$); Amarelo = alerta ($74 < ITU \leq 78$); Vermelho = perigo ($78 < ITU \leq 84$).

Figura 74. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário *Blue House* para o período de inverno, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.

A Figura 75 apresenta a distribuição do ITU no período do verão no aviário do tipo *Blue House*. Observa-se na Figura 75 (a) a condição de conforto térmico em toda a lateral esquerda do aviário (aproximadamente 75%), enquanto que a direita ocorre estado de alerta e, na parte central no comprimento ocorre a transição das condições de conforto para alerta, neste caso os sensores foram posicionados levando em consideração a condição mais representativa (conforto). A Figura 75 (b) apresentou a maioria da área em condição de alerta (aproximadamente 78%), indicando a necessidade de um sistema de ventilação e resfriamento mais eficiente e, os sensores foram posicionados na transição da condição de conforto para alerta e os outros dois na condição de alerta, uma vez que a condição de conforto não é representativa. Já a Figura 75 (c) apresentou 33% dos dados em condição de conforto, enquanto que 65% esteve na condição de alerta e 2% na

condição de perigo. A Figura 75 (d) apresenta condição de alerta na entrada de ar e de alerta e transição para o alerta próximo aos exaustores, enquanto que os sensores foram posicionados na condição de alerta e na condição de transição entre alerta e perigo, o que, para a modelagem, foram os pontos mais representativos (vermelha – aproximadamente 33%).



Verde = conforto ($64 < ITU \leq 74$); Amarelo = alerta ($74 < ITU \leq 78$); Vermelho = perigo ($78 < ITU \leq 84$).

Figura 75. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário *Blue House* para o período de verão, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.

A Tabela 54 apresenta a análise geoestatística dos dados do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário *Dark House*. Dados estes correspondentes ao período de inverno e verão no horário mais crítico do dia para a produção de frango de corte na fase final de crescimento, ou seja, às 14h00min. A análise geoestatística foi realizada para entrada dos seus parâmetros no *software* SANOSw95 para ter a saída com os valores das posições dos sensores.

Tabela 54. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para o Índice de Temperatura e Umidade no galpão *Dark House* às 14h00min, nas diferentes idades das aves.

Idade	Período	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
21dias	Inverno	Esférico	0,010	9,410	19,60	0,10%	0,735	4,50E+00
21dias	Verão	Esférico	0,001	0,884	17,20	0,11%	0,621	3,00E-02
28dias	Inverno	Esférico	0,001	1,896	19,00	0,05%	0,850	6,08E-02
28dias	Verão	Esférico	0,018	1,770	15,90	1,02%	0,751	4,93E-02
35dias	Inverno	Esférico	0,044	0,766	16,90	5,74%	0,787	9,31E-03
35dias	Verão	Esférico	0,001	0,766	17,50	0,13%	0,950	2,30E-03
42dias	Inverno	Esférico	0,001	1,269	19,30	0,08%	0,713	8,60E-02
42dias	Verão	Esférico	0,016	1,110	18,40	1,44%	0,855	1,84E-02

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos.

As Tabelas 55 e 56 apresentam as coordenadas X e Y dos pontos onde o *software* apontou como pontos representativos das condições ambientais, sendo recomendada a alocação dos sensores de temperatura e umidade para maior controle ambiental, uma vez que os dados registrados pelos sensores servirão de base para tomada à decisão do controlador no manejo do sistema de ventilação. Sendo a Tabela 55 para o período de inverno e a Tabela 56 para o período de verão.

Tabela 55. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário *Dark House* às 14h00min, no período do inverno, nas diferentes idades das aves.

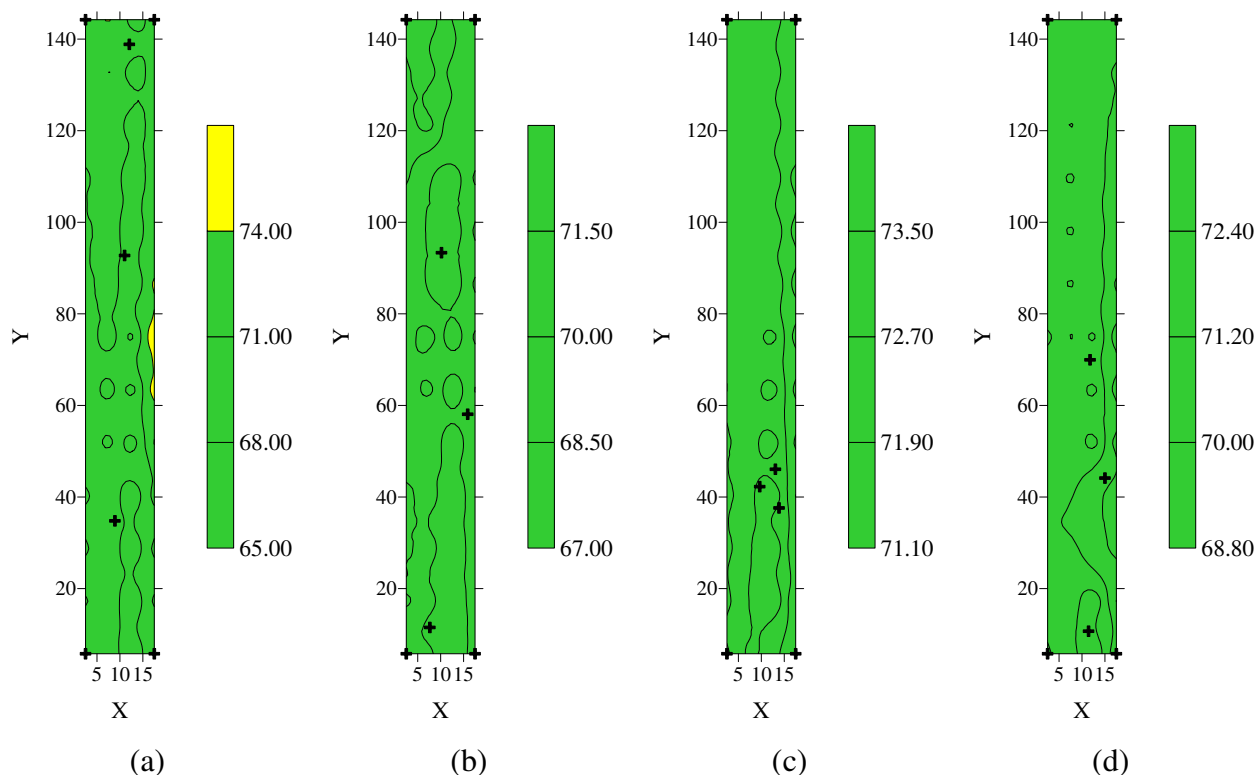
21 dias		28 dias		35 dias		42 dias	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
12,05	138,85	15,90	58,07	13,07	46,06	11,43	10,69
8,91	34,79	7,64	11,51	13,86	37,61	15,01	44,13
11,02	92,74	10,18	93,35	9,65	42,26	11,76	69,96

Tabela 56. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário *Dark House* às 14h00min, no período do verão, nas diferentes idades das aves.

21 dias		28 dias		35 dias		42 dias	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
6,13	127,06	6,86	105,19	17,22	95,41	16,15	59,05
10,79	90,54	8,05	46,01	14,97	116,47	8,96	139,16
8,84	138,77	11,04	80,69	3,01	103,07	7,39	35,78

A distribuição dos dados do ITU para o aviário *Dark House* avaliado no período do inverno e verão está apresentada nas Figuras 76 e 77, respectivamente, no horário mais crítico do dia, ou seja, às 14h00min. A condição de conforto térmico (85% dos casos) segundo a classificação do ITU, proposta por Thom (1959), foi observada no aviário *Dark House* na condição de inverno para todas as idades dos frangos de corte em que os dados foram registrados, entretanto aos 21 dias de idade das aves houve uma pequena área com condição de alerta – aproximadamente 15% dos dados (Figura 76 a).

Em relação ao posicionamento dos sensores, foi possível observar que estes estão bem distribuídos na Figura 76 (a) abrangendo os três setores do aviário concordando com a divisão realizada por Miragliotta et al. (2006) e por Lima (2012). A Figura 76 (b) apresentou resultados semelhantes quando as aves estavam com 21 dias de idade (Figura 76 a), os quais os sensores foram posicionados mais próximos da entrada de ar e distanciados dos exaustores, da mesma forma para aves com 42 dias de idade (Figura 76 d), indicando a necessidade de identificar quais as condições do ar de entrada para assim inferir no manejo do sistema de ventilação. A Figura 76 (c) apresenta os três sensores posicionados de forma agrupada, indicando que apenas um sensor seria suficiente para o controle do aviário nesta fase de criação das aves. A porcentagem de condição de conforto foi de 100%, 92% e 100%, para as aves com 28, 35 e 42 dias de idade, respectivamente.

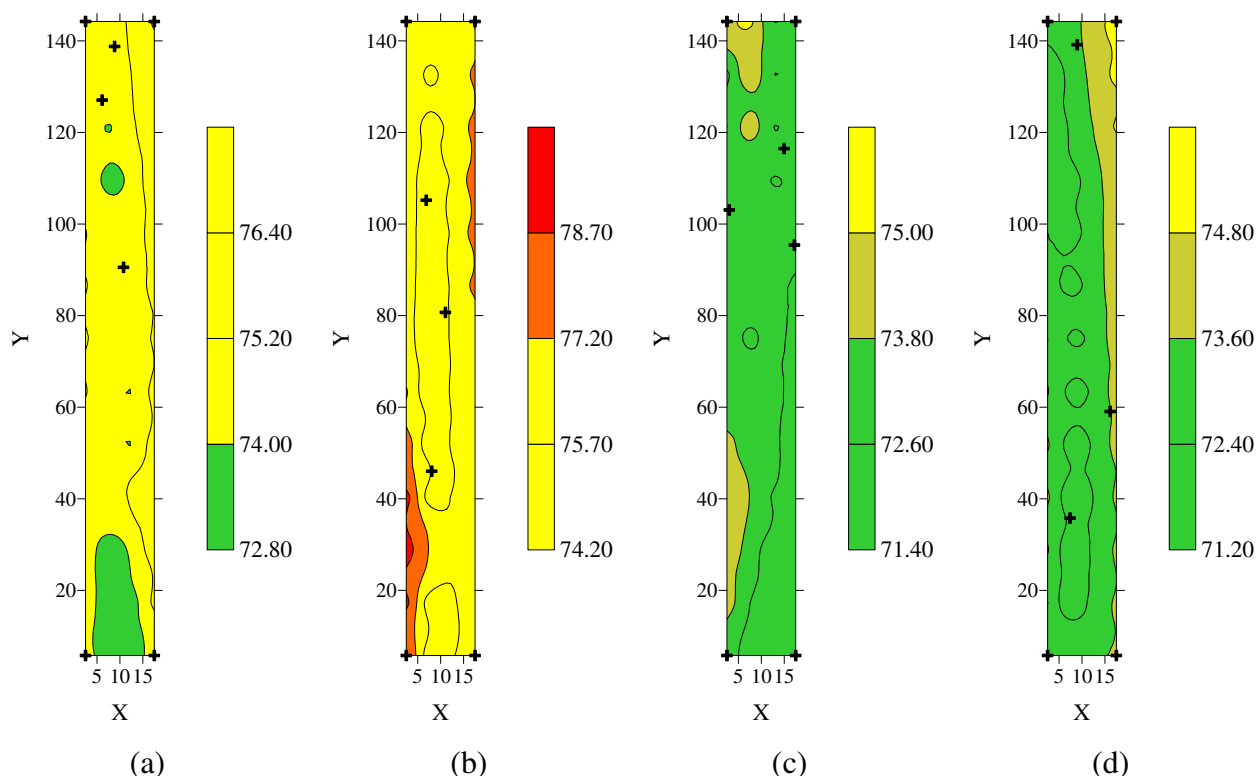


Verde = conforto ($64 < ITU \leq 74$); Amarelo = alerta ($74 < ITU \leq 78$); Vermelho = perigo ($78 < ITU \leq 84$).

Figura 76. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário *Dark House* para o período de inverno, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.

A Figura 77 (a) apresenta a distribuição da condição alerta para todo o aviário (65% da área do aviário em condição de alerta), com pontos isolados de conforto, neste caso os sensores estiveram distribuídos da direção longitudinal do aviário mais próximo aos exaustores. A Figura 77 (b) apresenta o posicionamento dos sensores de temperatura e umidade relativa de maneira semelhante à Figura 76 (a), entretanto, na condição de verão a maior parte do aviário está em condição de alerta (90% da área do aviário em condição de alerta) e de perigo (10% da área do aviário em condição de perigo) na lateral esquerda próxima à entrada de ar através do painel evaporativo. Os sensores foram alocados mais próximos aos exaustores para aves aos 35 dias de idade (Figura 77 c), e a maior parte da área do aviário apresentou ambiência de conforto (87% da área do aviário em condição de conforto) às aves em relação ao ITU. A Figura 77 (d) apresenta a maior parte do aviário em conforto térmico (80 % da área do aviário em condição de conforto), sendo que na lateral direita próximo aos exaustores a condição é de alerta, assim os sensores foram alocados próximo aos exaustores de maneira a ficar posicionado no ponto médio, o outro

sensor posicionou-se próximo à lateral direita que apresenta condição de transição entre a condição de conforto e a condição de alerta e, o terceiro sensor no centro próximo às entradas de ar.



Verde = conforto ($64 < ITU \leq 74$); Amarelo = alerta ($74 < ITU \leq 78$); Vermelho = perigo ($78 < ITU \leq 84$).

Figura 77. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário *Dark House* para o período de verão, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.

A Tabela 57 apresenta a análise geoestatística dos dados do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário DWH. Dados estes correspondentes ao período de inverno e verão no horário mais crítico do dia para a produção de frango de corte na fase final de criação, ou seja, às 14h00min. A análise geoestatística foi realizada para entrada dos seus parâmetros no *software* SANOSw95 para ter a saída com os valores das posições dos sensores.

Tabela 57. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para o Índice de Temperatura e Umidade no galpão *Double Wide House* às 14h00min, nas diferentes idades das aves.

Idade	Período	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
21dias	Inverno	Esférico	0,010	8,503	20,80	0,12%	0,652	4,44E+00
21dias	Verão	Esférico	0,003	0,258	21,50	1,20%	0,819	1,69E-03
28dias	Inverno	Esférico	0,010	3,227	22,40	0,31%	0,754	5,05 E-01
28dias	Verão	Exponencial	0,097	0,720	22,80	13,47%	0,774	7,01E-03
35dias	Inverno	Exponencial	0,630	4,433	50,40	14,21%	0,756	1,15E00
35dias	Verão	Esférico	0,001	1,080	21,50	0,09%	0,662	8,42 E-02
42dias	Inverno	Exponencial	0,023	1,037	68,70	2,22%	0,981	4,42E-03
42dias	Verão	Exponencial	0,349	0,851	56,70	41,01%	0,822	1,29E-02

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos.

As Tabelas 58 e 59 apresentam as coordenadas X e Y dos pontos onde o software apontou como pontos representativos das condições ambientais, sendo recomendada alocação dos sensores de temperatura e umidade para maior controle ambiental, uma vez que os dados registrados pelos sensores servirão de base para tomada à decisão do controlador no manejo do sistema de ventilação. Sendo a Tabela 58 para o período de inverno e a Tabela 59 para o período de verão.

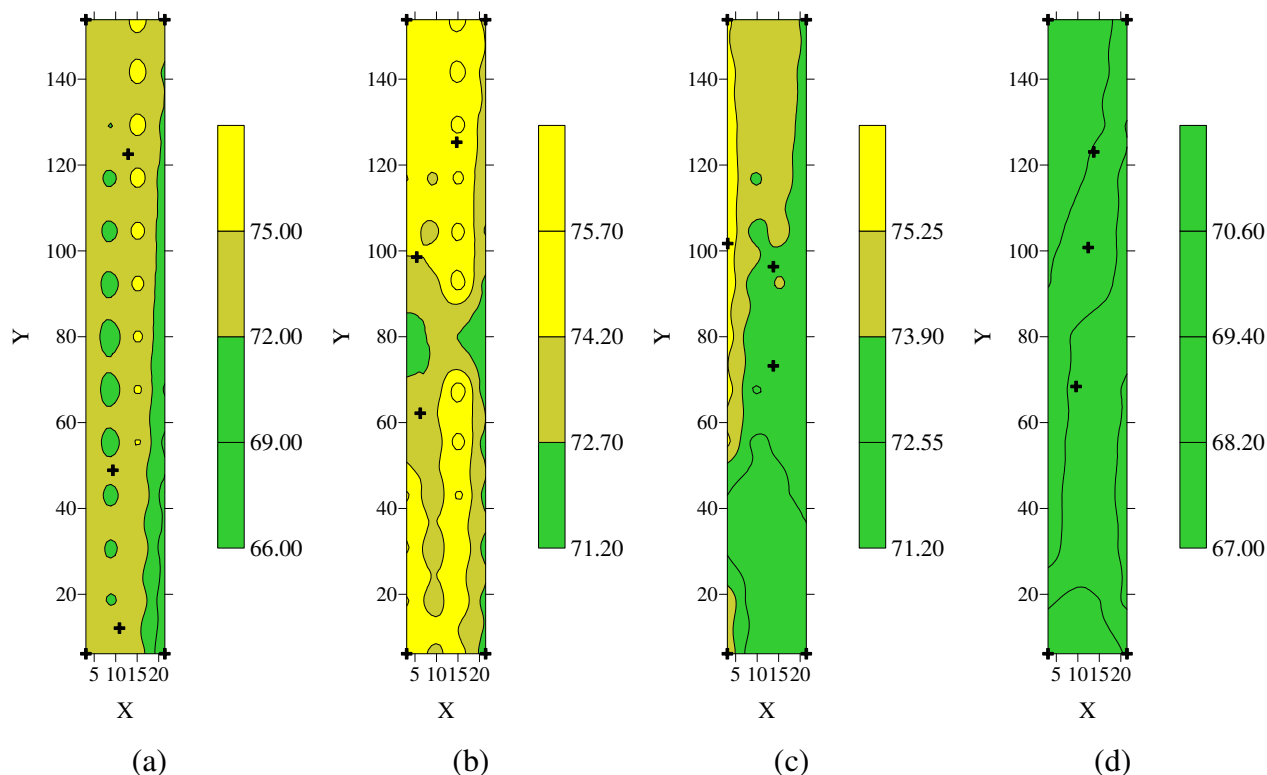
Tabela 58. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário *Double Wide House* às 14h00min, no período do inverno, nas diferentes idades das aves.

21 dias		28 dias		35 dias		42 dias	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
12,90	122,53	5,41	98,56	13,78	96,32	13,71	123,05
10,88	12,12	14,71	125,31	3,15	101,71	12,42	100,78
9,35	48,90	6,22	62,18	13,76	73,22	9,60	68,41

Tabela 59. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário *Double Wide House* às 14h00min, no período do verão, nas diferentes idades das aves.

21 dias		28 dias		35 dias		42 dias	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
11,03	42,82	22,45	21,80	9,49	24,95	9,35	20,07
4,83	119,06	11,18	99,49	15,42	35,59	10,20	131,37
22,32	62,27	19,40	62,40	19,56	45,57	13,26	39,18

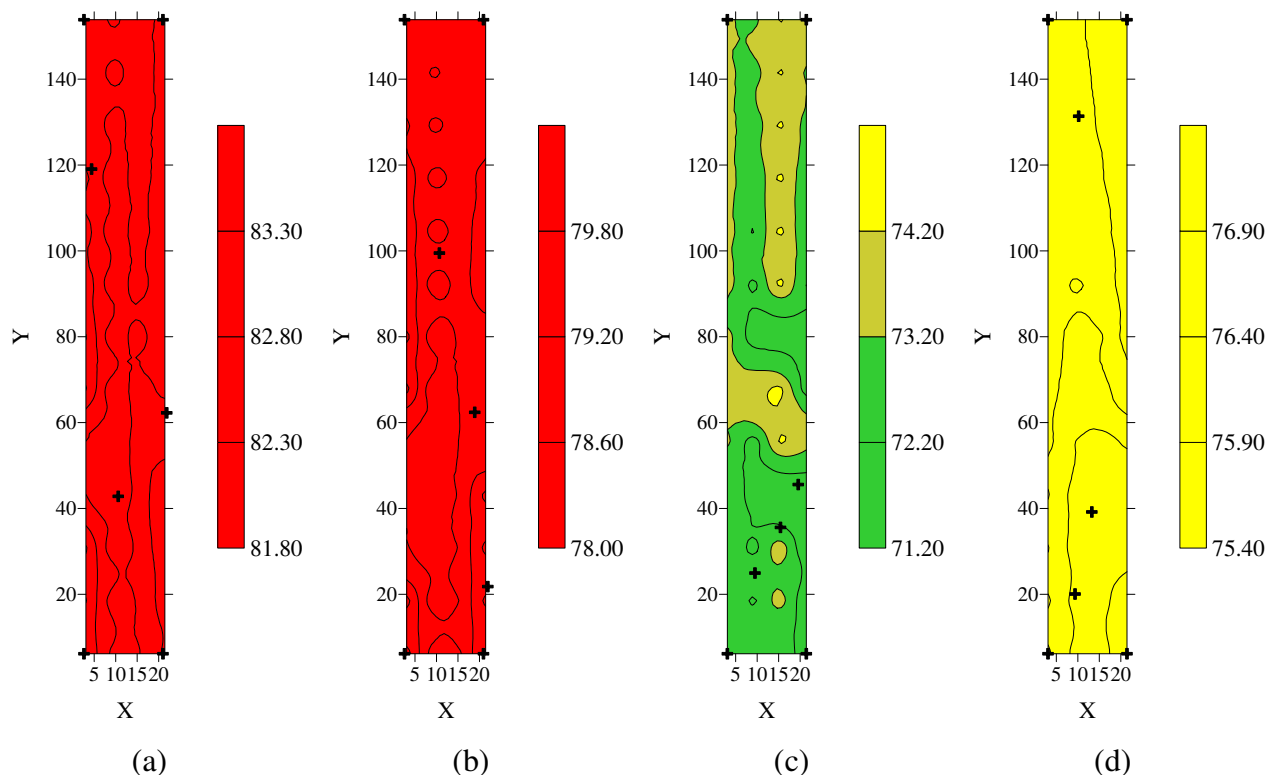
A distribuição dos dados do ITU para o aviário *Double Wide House* avaliado no período do inverno e verão está apresentada nas Figuras 78 e 79, respectivamente, no horário mais crítico do dia, ou seja, às 14h00min. Por meio da Figura 78 (a) é possível observar que a face da lateral direita apresentou-se em condição de conforto (aproximadamente 73%) segundo classificação do ITU proposto por Thom (1959), enquanto pontos isolados efetivamente estavam em condição de alerta, enquanto que o posicionamento dos sensores foi distribuído no comprimento do galpão (direção Y) no ponto médio da largura (direção X). A condição de alerta foi mais abrangente na Figura 78 (b), apresentando áreas em condições de conforto térmico (aproximadamente 50%) para o frango de corte com Y próximo de 80 m nas duas laterais (esquerda e direita), neste caso o posicionamento dos sensores abrangeu as condições centrais do aviário na direção dos exaustores. Os sensores foram posicionados na parte central do aviário compreendendo a condição de conforto, transição e alerta aos 35 dias de idade das aves, sendo que 60% do aviário apresentavam-se em conforto. A Figura 78 (d) apresentou o aviário todo em condição de conforto térmico e os sensores foram posicionados na região central do aviário deslocada para a parte próxima aos exaustores.



Verde = conforto ($64 < ITU \leq 74$); Amarelo = alerta ($74 < ITU \leq 78$); Vermelho = perigo ($78 < ITU \leq 84$).

Figura 78. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário *Double Wide House* para o período de inverno, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.

A Figura 79 (a) apresenta condições de perigo à criação de aves em todo o galpão, sendo que os sensores foram posicionados de forma que abrangeu as condições laterais (próximo às cortinas, às quais tem maior influência do ambiente externo) e no fundo do aviário próximo às entradas de ar. Enquanto que aos 28 dias das aves (Figura 79 b) também esteve com condições adversas à criação de aves, sendo que 88% da área estava sob condição de perigo. Neste caso os sensores foram distribuídos em toda a extensão longitudinal do aviário variando entre as laterais e o meio no sentido da coordenada X. As aves aos 35 dias de idade estavam submetidas em condições de conforto em 80% dos casos e os sensores foram posicionados próximo às entradas de ar. A Figura 79 (d) apresenta sensores localizados em toda a direção Y, apresentando dois sensores próximos às entradas de ar, neste caso as aves estavam 100% em condição de alerta, segundo classificação do ITU.



Verde = conforto ($64 < ITU \leq 74$); Amarelo = alerta ($74 < ITU \leq 78$); Vermelho = perigo ($78 < ITU \leq 84$).

Figura 79. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário *Double Wide House* para o período de verão, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.

A Tabela 60 apresenta a análise geoestatística dos dados do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário *Solid Wall*. Dados estes correspondentes ao período de inverno e verão no horário mais crítico do dia para a produção de frangos de corte, ou seja, às 14h00min. A análise geoestatística foi realizada para entrada dos seus parâmetros no *software* SANOSw95 para ter a saída com os valores das posições dos sensores.

Tabela 60. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para o Índice de Temperatura e Umidade no galpão *Solid Wall* às 14h00min, nas diferentes idades das aves.

Idade	Período	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	GDE	R ²	SQR
21dias	Inverno	Esférico	0,001	0,518	16,90	0,19%	0,838	6,94E-03
21dias	Verão	Gaussiano	0,001	2,330	19,05	0,04%	0,89	2,98E-01
28dias	Inverno	Esférico	0,001	0,797	16,50	0,12%	0,942	6,12E-03
28dias	Verão			Efeito Pepita Puro				
35dias	Inverno	Esférico	0,001	1,966	16,00	0,05%	0,838	1,06E-01
35dias	Verão	Gaussiano	0,001	1,559	14,72	0,06%	0,914	4,80E-02
42dias	Inverno			Efeito Pepita Puro				
42dias	Verão	Gaussiano	0,001	2,286	15,07	0,04%	0,923	9,92E-02

GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos.

As Tabelas 61 e 62 apresentam as coordenadas X e Y dos pontos onde o *software* apontou como pontos representativos das condições ambientais, sendo recomendada a alocação dos sensores de temperatura e umidade para maior controle ambiental, uma vez que os dados registrados pelos sensores servirão de base para tomada à decisão do controlador no manejo do sistema de ventilação. Sendo a Tabela 61 para o período de inverno e a Tabela 62 para o período de verão.

Tabela 61. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário *Solid Wall* às 14h00min, no período do inverno, nas diferentes idades das aves.

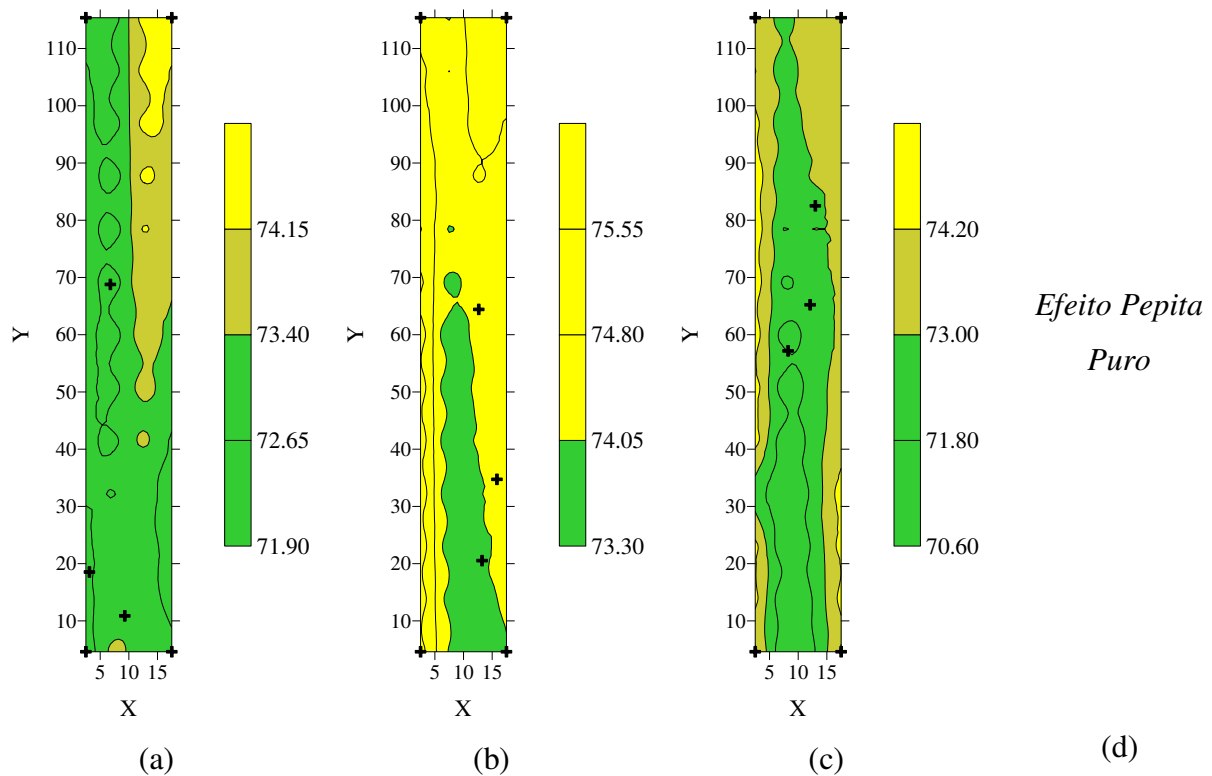
21 dias		28 dias		35 dias		42 dias	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
6,78	68,78	12,66	64,42	8,24	57,17	Efeito Pepita Puro	
9,29	10,88	15,84	34,73	12,09	65,23		
3,12	18,54	13,24	20,53	13	82,52		

Tabela 62. Coordenadas dos pontos para posicionamento dos sensores para o aviário *Solid Wall* às 14h00min, no período do verão, nas diferentes idades das aves.

21 dias		28 dias		35 dias		42 dias	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
14,84	70,30		3,44	66,33	6,62	15,49	14,84
2,94	35,50	Efeito Pepita Puro	10,62	45,04	3,53	72,11	2,94
8,66	91,44		12,45	66,96	11,08	58,66	8,66

A distribuição dos dados do ITU para o aviário *Dark House* avaliado no período do inverno e verão está apresentada nas Figuras 80 e 81, respectivamente, no horário mais crítico do dia, ou seja, às 14h00min. A Figura 80 (a) apresenta a distribuição da condição de conforto na área do aviário, a qual corresponde a 85% da área do aviário, enquanto que próximo aos exaustores na lateral direita observa-se condição de alerta, sendo que dois sensores foram posicionados nas entradas de ar e o outro próximo ao centro do aviário, onde já se encontra condição de alerta.

As condições de alerta registradas aos 28 dias de idade das aves (Figura 80 – b) foram de aproximadamente 73% dos casos, sendo que os sensores foram posicionados na região das entradas de ar e mais ao centro do aviário compreendendo condição de conforto e alerta. Enquanto aos 35 dias de idade os sensores se agruparam próximo ao centro do aviário distribuído entre Y=55m e Y=85m, sendo que 65% da área do aviário abrangiam a condição de conforto térmico. Aos 42 dias de idade das aves, 100% do aviário se apresentaram em condição de conforto, mas neste caso houve Efeito Pepita Pura, a qual toda a variabilidade quantificada pelo semivariograma é atribuída ao efeito aleatório e, nada pode ser dito sobre a dependência espacial (Vieira, 2000).

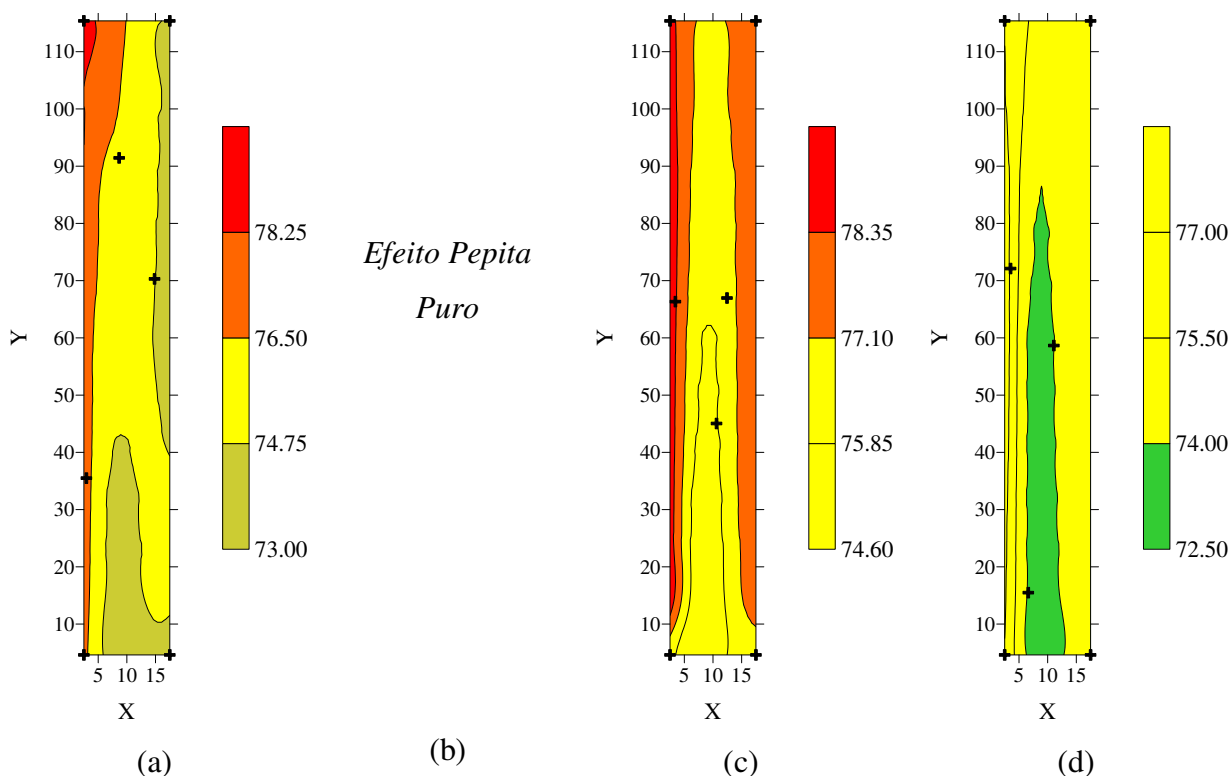


Verde = conforto ($64 < ITU \leq 74$); Amarelo = alerta ($74 < ITU \leq 78$); Vermelho = perigo ($78 < ITU \leq 84$).

Figura 80. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário *Solid Wall* para o período de inverno, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.

A Figura 81 (a) apresenta a distribuição da condição alerta para toda região central do aviário (80% da área do aviário em condição de alerta), sendo que as condições de conforto estão próximas às entradas de ar (10% de condição de conforto) e as condições de alerta próximo aos exaustores (10% de condição de perigo), assim, os sensores foram posicionados mais próximos aos exaustores comparado com a distância das entradas de ar.

Aos 35 dias de idade das aves, os sensores foram alocados agrupadamente no centro do aviário, sendo próximo às laterais e ao centro (em relação ao eixo X), com a região central em condição de alerta à criação de aves correspondendo à 73% dos dados e em ambas as laterais situação de perigo (Figura 81 c). A Figura 81 (d) indica que as condições do ar de entrada estão em condição de conforto correspondendo a 17% da área do aviário, enquanto, que o restante apresenta-se em condição de alerta (83%). Aos 42 dias de idade das aves, os sensores foram posicionados de maneira a compreender a condição do ar de entrada e também às condições no limite entre conforto e alerta e também às condições de alerta na lateral esquerda.



Verde = conforto ($64 < ITU \leq 74$); Amarelo = alerta ($74 < ITU \leq 78$); Vermelho = perigo ($78 < ITU \leq 84$).

Figura 81. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade para o aviário *Solid Wall* para o período de verão, aos 21 (a), 28 (b), 35 (c) e 42 (d) dias de idade do frango de corte.

5.4.1 Considerações finais dos resultados do posicionamento de sensores

A utilização de três sensores posicionados de forma estratégica, ou seja, nos pontos mais representativos, é uma maneira eficiente para o controle das condições internas em instalações de frangos de corte. A metodologia utilizada neste trabalho identificou os pontos mais representativos semanalmente nos aviários, o que representa trabalho ao produtor na mudança dos sensores em função da idade das aves e período do ano, neste sentido poderia ser adotado como trabalhos futuros a determinação do posicionamento dos sensores em três pontos representativo para toda a fase final de criação a fim de facilitar o trabalho do produtor. Os mapas apresentados indicaram que os sensores devem ser posicionados principalmente nas entradas e saídas de ar, no centro do aviário e também próximo às laterais.

5.5 CFD

5.5.1 Geometria

As Figuras 82, 83, 84 e 85 apresentam a geometria do domínio realizada para estudo do fluxo de ar no interior da instalação para frangos de corte. O aviário avaliado por meio do CFD foi o *Solid Wall*, como citado anteriormente no Item 4 Análise dos Dados.

Os *inlets* instalados no aviário não foram considerados para a simulação, uma vez que estes não estavam em funcionamento no momento da coleta de dados para validação e avaliação do sistema de ventilação para as aves na fase final de criação, neste caso o ar externo entrava no aviário através do painel evaporativo localizado ao fundo.

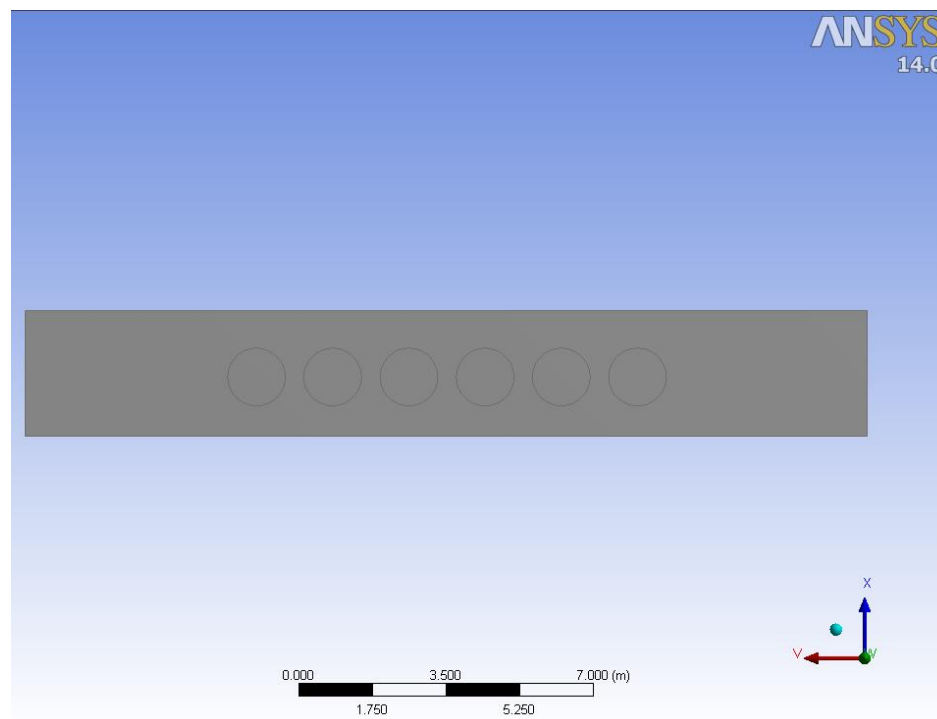


Figura 82. Geometria do aviário *Solid Wall*, com enfoque nos exaustores frontais.

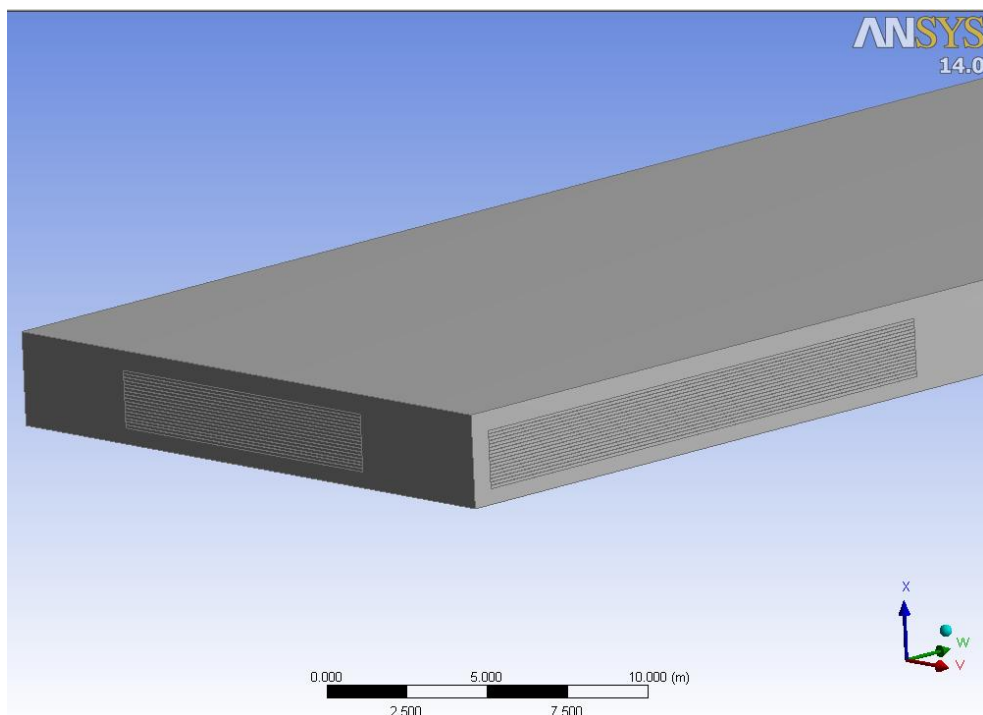


Figura 83. Geometria do aviário *Solid Wall*, com enfoque nas entradas de ar através dos painéis evaporativos no fundo e na lateral da instalação.

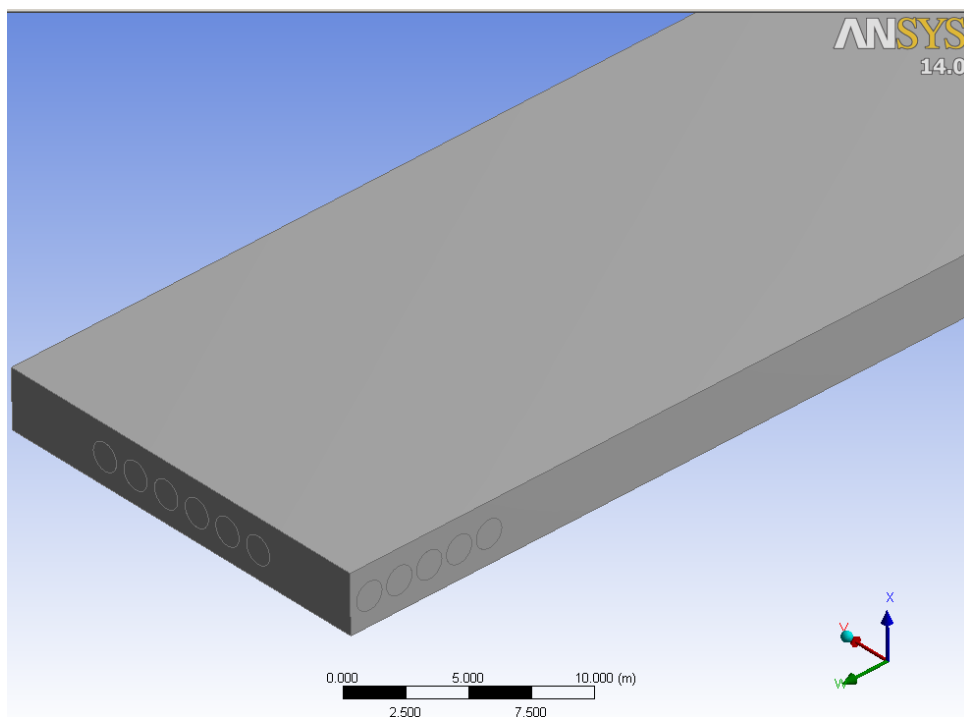


Figura 84. Geometria do aviário *Solid Wall*, com enfoque nas saídas de ar através dos exaustores na frente e na lateral da instalação.

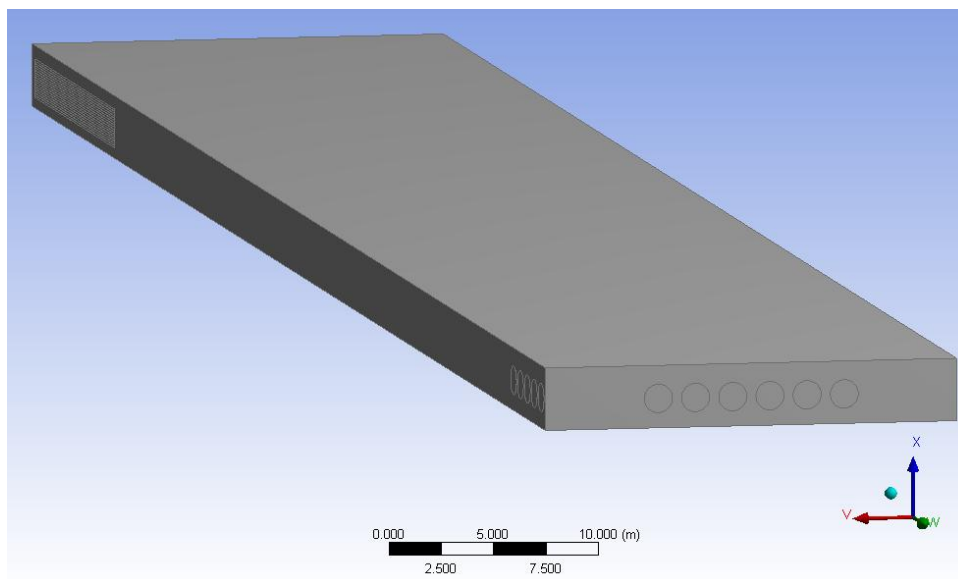


Figura 85. Geometria em perspectiva do aviário *Solid Wall*.

5.5.2 Malha

As malhas testadas estão apresentadas na Tabela 63, o qual consta o número de elementos, número de nós e os parâmetros da malha (*element quality*, *aspect ratio* e *skewness*). Todas as malhas testadas com diferentes dimensões apresentaram o valor na assimetria menor que 0,80 e *element quality* acima de 0,75 como recomendado por Gambit (2001).

Tabela 63. Diferentes tamanhos de malha testadas.

Dimensão da Malha	0,20 m	0,23 m	0,25 m	0,30 m	0,40 m
N. de elementos	1014595	706390	585619	389829	214623
N. de nós	1055529	729949	590374	396666	208855
<i>Element Quality</i>	0,940	0,914	0,890	0,850	0,790
<i>Aspect Ratio</i>	1,680	2,020	2,290	2,620	3,880
<i>Skewness</i>	0,065	0,100	0,140	0,160	0,250

O teste de independência de malha foi realizado em cinco diferentes malhas como apresentado na Figura 86 e Tabela 63, os quais são apresentados por meio do gráfico de barras, cujo comprimento equivale à velocidade do ar encontrado nos resultados das simulações no interior do aviário estudado no sentido da coordenada X da instalação.

Nota-se uma grande diferença (em até 107,48%) entre o comprimento das barras entre a malha mais refinada e a malha mais grossa, mostrando que esse refinamento provocou grandes alterações nos resultados encontrados. Enquanto a diferença encontrada entre a malha 0,23 m e 0,20 m foi menor, sinalizando a obtenção de independência dos resultados em relação à malha. Neste caso, a malha escolhida foi com dimensão de 0,23 m a fim de obter resultados tão bons quanto à malha com dimensão de 0,20 m, sem o dispêndio de custo computacional como teria na mesma. Neste sentido, a malha escolhida apresentou 706.390 elementos, 729.949 nós e assimetria igual à 0,10.

A assimetria (*skewness*) nos resultados da malha menos refinada (dimensão de 0,40 m) igual à 0,25 é um claro indicativo da inadequação dessa malha. Na medida em que a malha é refinada, essa assimetria diminuiu. Esses resultados são apenas apresentados neste trabalho a fim de salientar a importância da correta configuração da malha. Em termos práticos, apenas os resultados com a malha refinada devem ser reportados e utilizados.

Para garantir a convergência dos resultados foram considerados valores residuais - RSM inferiores a 10^{-4} . Tais valores são baseados nos erros residuais das soluções numéricas das equações de momento e continuidade sugeridas na literatura para a conservação das quantidades de transporte. Neste sentido, a convergência da solução foi cuidadosamente verificada através do monitoramento do valor residual das equações de transporte no decorrer da simulação. Os resíduos encontrados na simulação com a malha refinada foram menores que 10^{-4} , indicando que essa malha é a mais adequada. A simulação com malha refinada teve um tempo de processamento total de 5 h para cada uma das simulações realizadas.

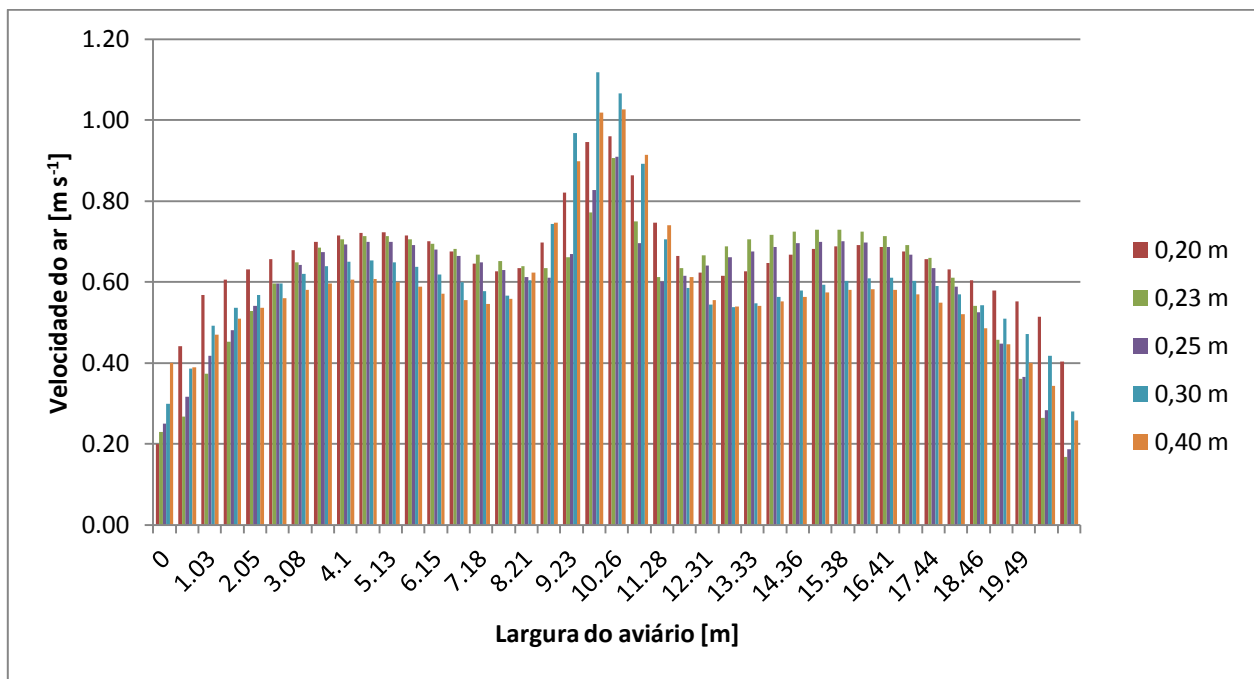


Figura 86. Comparação entre as simulações com diferentes dimensões de malhas.

As Figuras 87, 88, 89 e 90 apresentam a distribuição da malha na geometria da instalação de frangos de corte com dimensão máxima de 0,23 m, resultado este obtido pelo teste de independência de malha.

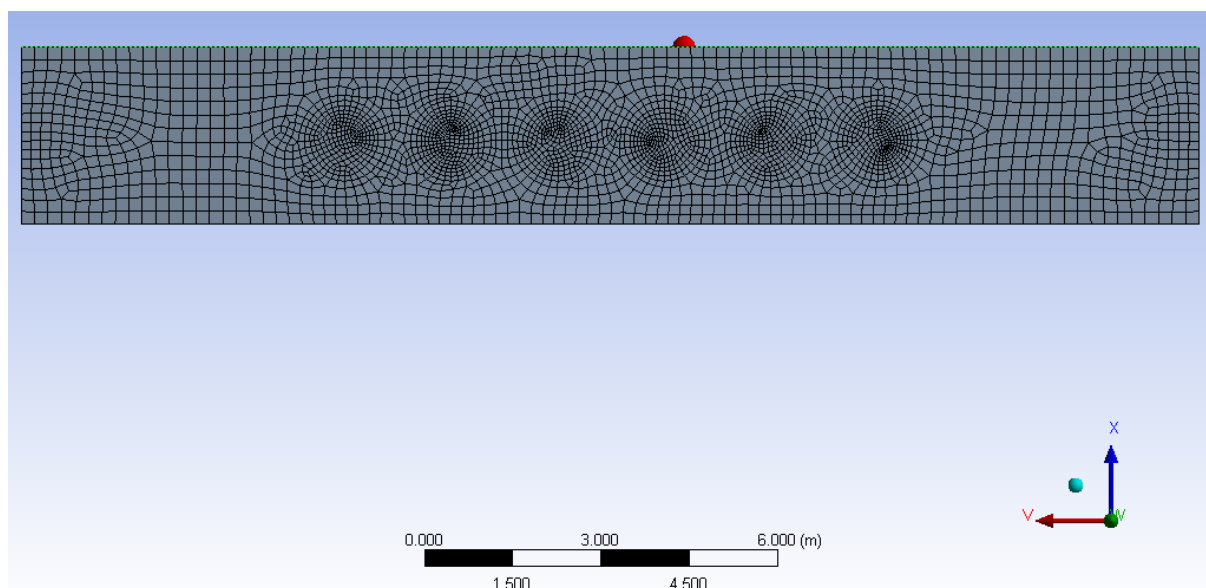


Figura 87. Distribuição da malha escolhida nos exaustores frontais.

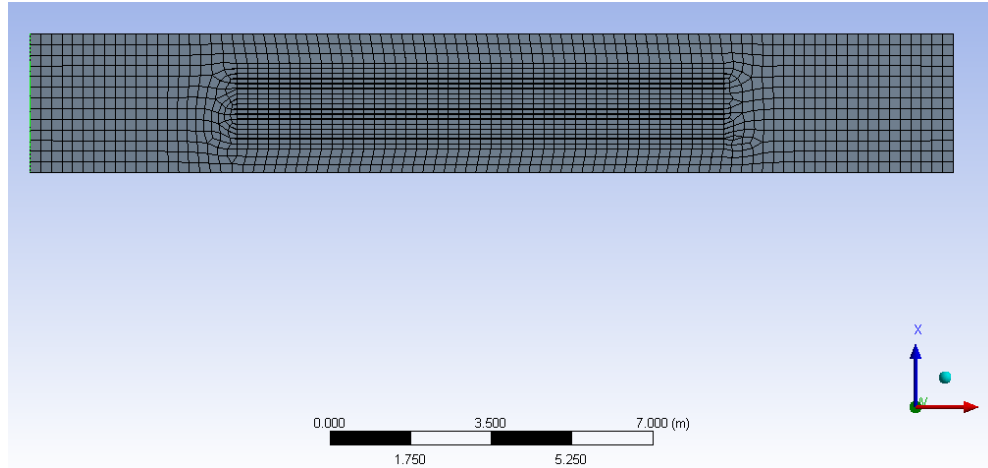


Figura 88. Distribuição da malha escolhida nos painéis evaporativos traseiros.

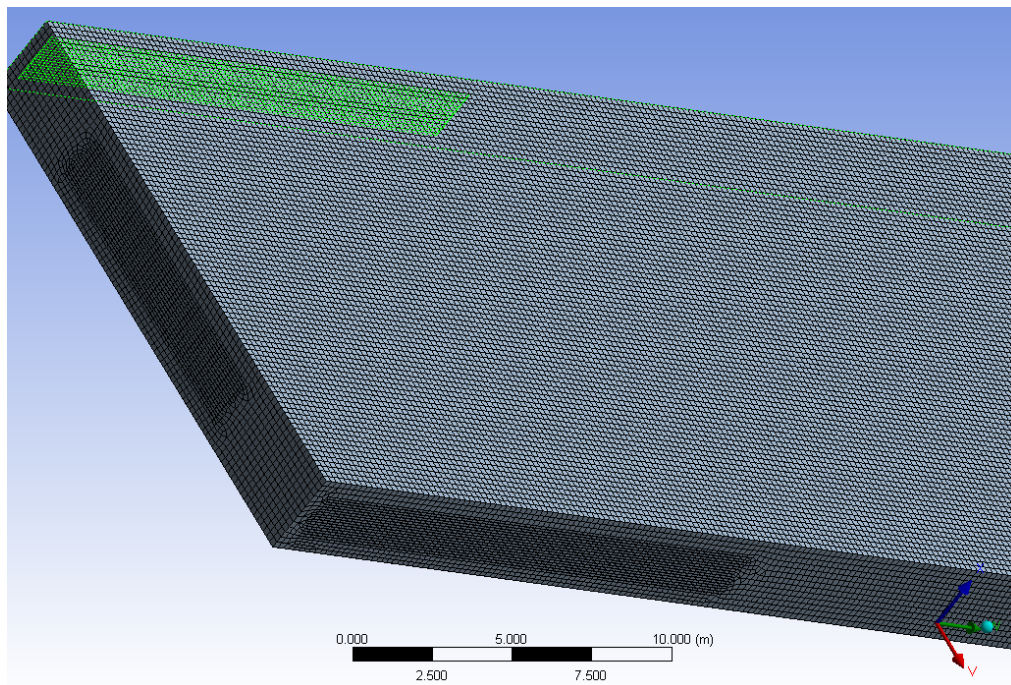


Figura 89. Distribuição da malha escolhida nos painéis evaporativos traseiros e laterais, em perspectiva.

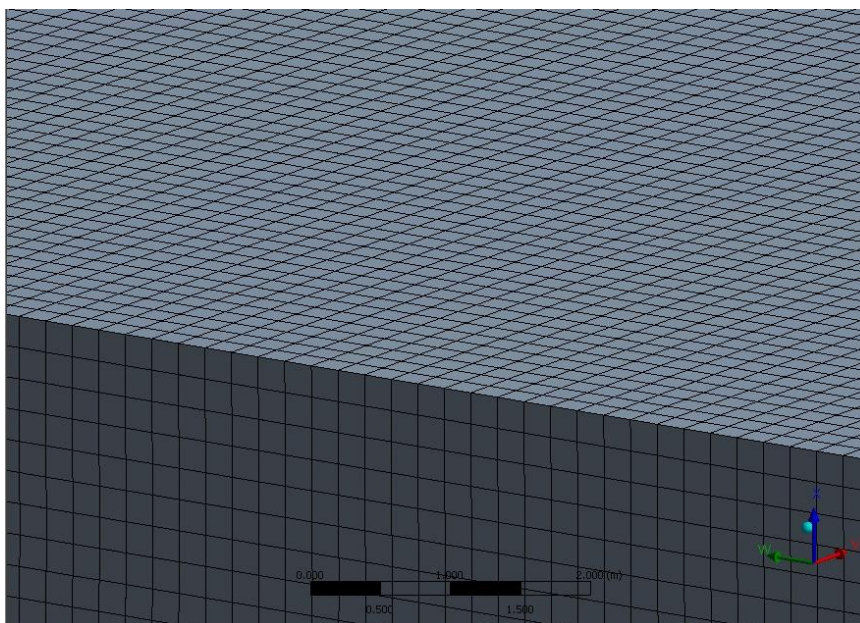


Figura 90. Imagem mais aproximada (*zoom*) da malha-estruturada escolhida.

5.5.3 Validação

A validação do modelo foi realizada por meio da concordância entre os valores medidos e simulados pelo modelo CFD pela média dos quadrados dos erros normalizados, o qual foi obtido valor de NMSE igual à 0,1936. Uma vez que valores menores de 0,25 são aceitos como bons indicadores de concordância, o modelo foi considerado validado em relação às condições de contorno adotadas. As condições de contorno consideradas foram a velocidade do ar mensurada no interior do aviário nas entradas de ar através do painel evaporativo e o diferencial de pressão estática nos exaustores acionados no momento da coleta dos dados. Neste sentido, as dimensões das entradas de ar foram medidas para serem acrescidas nas condições de contorno para maior acuracidade dos resultados. A Figura 91 apresenta como o modelo foi simulado levando em consideração as velocidades do ar no sentido perpendicular às entradas de ar no fundo do aviário, bem como a pressão estática em cada um dos exaustores acionados no momento da coleta de dados.

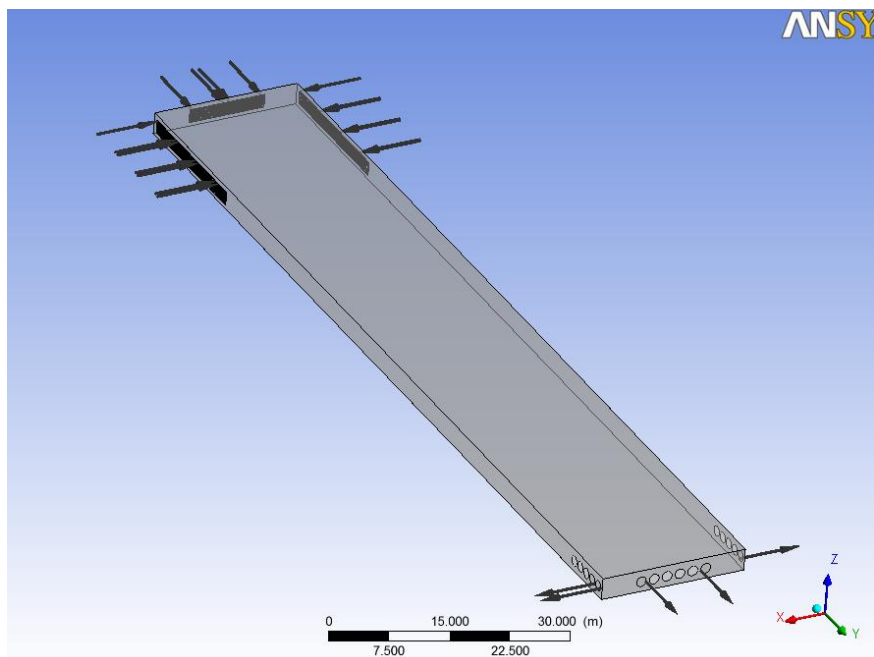


Figura 91. Condições de contorno do modelo para validação.

5.5.4 Resultados

As simulações realizadas foram diferenciadas pelo posicionamento dos cinco exaustores acionados como apresentado anteriormente no Item 4. A Tabela 64 apresenta os valores máximo e mínimo da velocidade do ar encontrados nas diferentes simulações de acordo com a escala.

Tabela 64. Comparação da distribuição da velocidade do ar (m s^{-1}) em todas as simulações no interior da instalação para frangos de corte.

Velocidade do ar [m s^{-1}]	Máximo	Mínimo	Média	Diferença
Simulação Original/Padrão	2,80	0,04	1,42	2,76
Simulação 1	2,78	0,03	1,40	2,75
Simulação 2	2,78	0,04	1,41	2,74
Simulação 3	2,78	0,03	1,40	2,75
Simulação 4	2,89	0,04	1,46	2,85
Simulação 5	2,78	0,03	1,40	2,75
Simulação 6	2,86	0,00	1,43	2,86
Simulação 7	3,10	0,03	1,56	3,07

A vantagem das simulações do CFD é que elas oferecem representação gráfica o qual proporciona fácil compreensão do fluxo de ar, com os parâmetros representados por diferentes cores ou vetores em diferentes cenários. Estes cenários estão apresentados nas Figuras 92 até a Figura 107 das diferentes simulações realizadas pela técnica do CFD a fim de encontrar a melhor disposição dos exaustores no sistema de ventilação que proporcionem melhor distribuição da velocidade do ar em relação à homogeneidade e também que os valores aproximem do valor considerado ideal pela literatura, ou seja, entre 1,5 e 2,5 m s⁻¹ (YAHAV et al., 2001). Também houve a tentativa de reduzir as regiões com baixa renovação do ar.

A simulação original é a simulação padrão que o produtor utiliza para troca de ar e as demais simulações são caracterizadas pelo uso da mesma quantidade de exaustores da Simulação Original/Padrão enquanto que seu posicionamento foi alterado como apresentado no Item 4.

Foi possível observar que a velocidade do ar apresenta-se maiores valores próximo aos exaustores acionados e também valores mais altos localizados na convergência do fluxo de ar que entra através dos painéis evaporativos instalados na face traseira e nas faces laterais no fundo do aviário, o que aumenta os valores da velocidade do ar à níveis acima do preconizado pela literatura. A convergência do fluxo de ar produz uma turbulência no centro do aviário próximo às entradas de ar na altura das aves, o que pode interferir no comportamento da ave de desenvolver suas atividades normais, uma vez que a velocidade do ar tem impacto no desempenho, conversão alimentar e consumo de água das aves (MAY et al., 2000).

Também foi possível observar que houve pontos com baixa troca de ar nas extremidades próximo à entrada de ar no fundo do aviário e também nos exaustores que não estavam acionados na simulação, esse resultado sugere que quanto melhor a distribuição dos exaustores acionados, menor a incidência das regiões com baixa renovação de ar. Esses pontos também são conhecidos como pontos “mortos” os quais a velocidade do ar aproxima-se de 0 m s⁻¹. A diferença entre regiões com altos e baixos valores de velocidade do ar podem causar desuniformidade do lote, interferindo na produção final, uma vez que a velocidade do ar influencia na sensação térmica das aves e por consequência na condição de conforto térmico como estudado por Tao & Xin (2003). Desta forma, nota-se que as regiões de entrada e saída do ar são críticas, enquanto que a zona intermediária apresenta um fluxo mais suave e homogêneo do ar.

Observando-se as Figuras 92 a 107, que apresentam a distribuição da velocidade do ar no sentido transversal (com distância de 0,0 à 90,0 m do painel evaporativo), foi possível identificar

que as maiores velocidades do ar estão presentes na entrada através do painel evaporativo há aproximadamente 1,8 m de altura em relação ao piso, bem como na lateral direita em função dos exaustores acionados na simulação. Em todo o comprimento do aviário as velocidades maiores estão localizadas próximo à face direita, podendo afirmar que as aves situadas nesta face apresentam maior poder de trocas térmicas em comparação com as aves posicionadas à esquerda, e estando dentro do intervalo considerado ideal por Yahav et al. (2001). Desta forma, aconselha-se que, quando do acionamento dos exaustores localizados na face frontal não seja realizada de forma simétrica, os exaustores acionados à direita estejam em maior número que os exaustores acionados na parte esquerda, pela tendência em ter áreas mais quentes próximas à face direita.

Levando em consideração à homogeneidade da distribuição da velocidade do ar (todas as aves estejam sob a mesma condição de renovação de ar) e impedir a formação de regiões com baixa renovação de ar, é possível afirmar a partir das Figuras que as Simulações 4 e 6 apresentaram melhor desempenho.

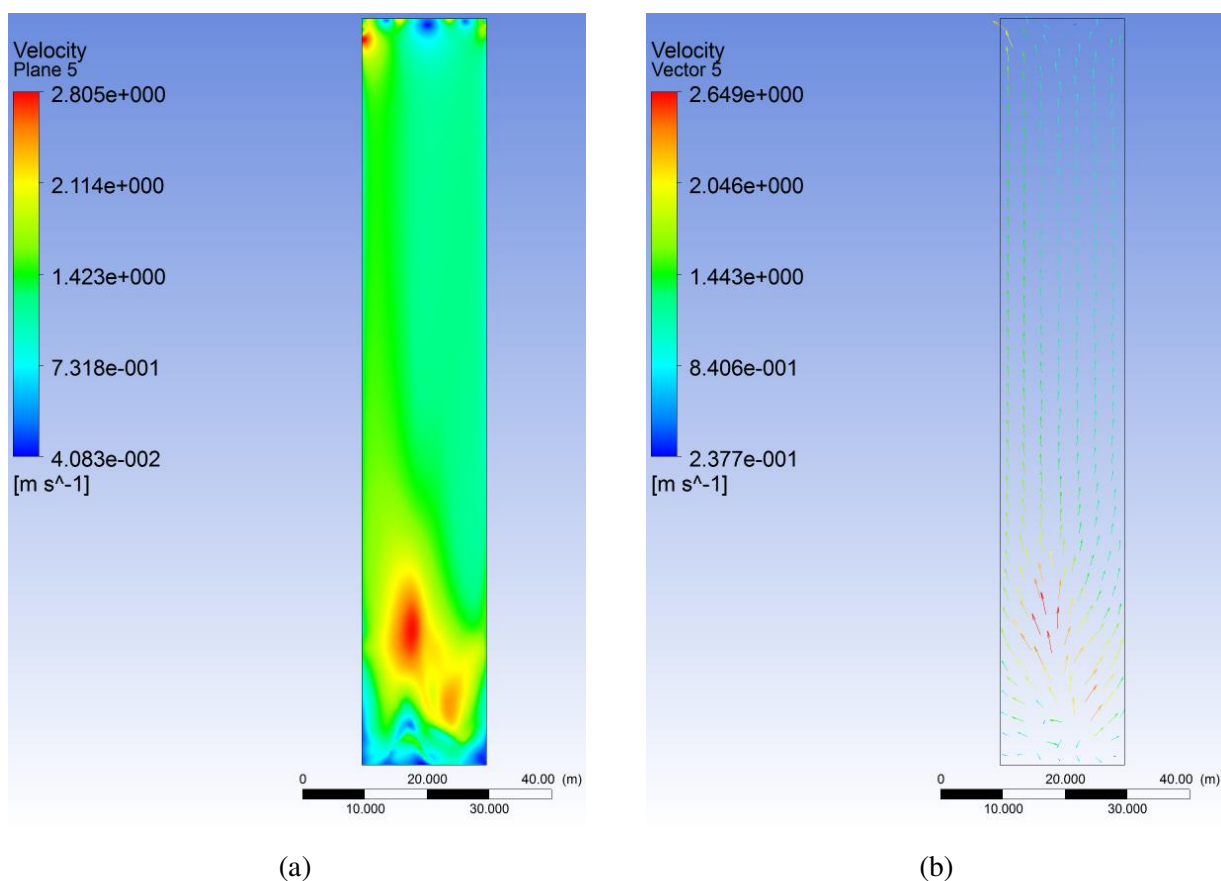
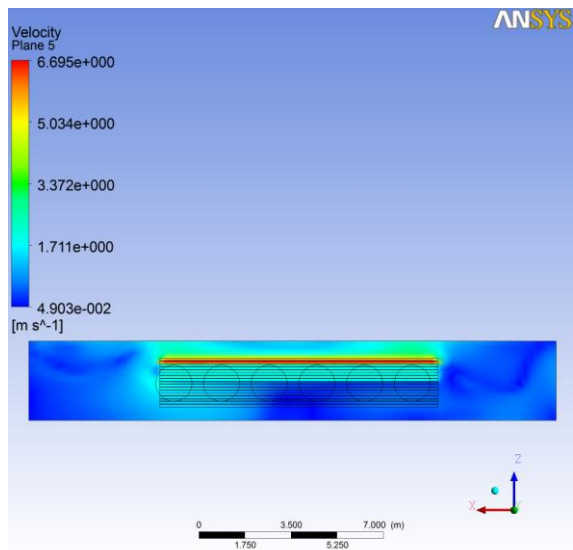
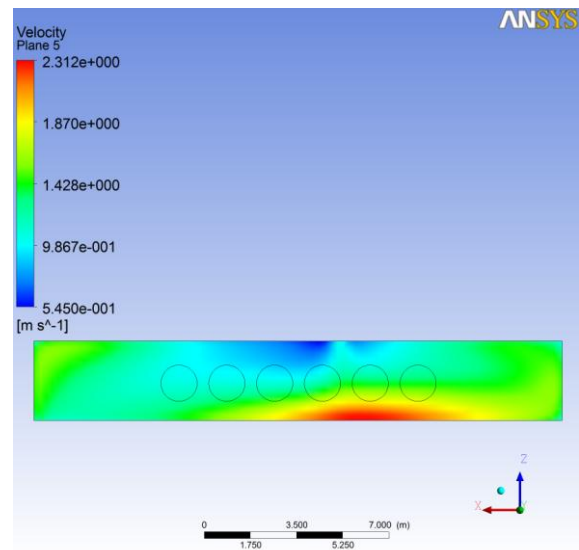


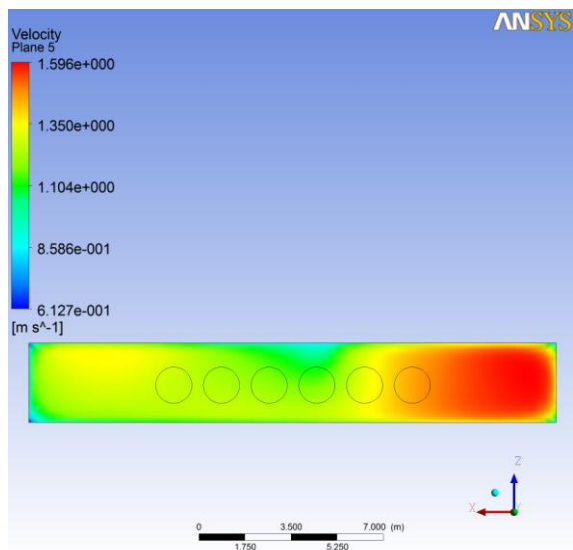
Figura 92. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação Original (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).



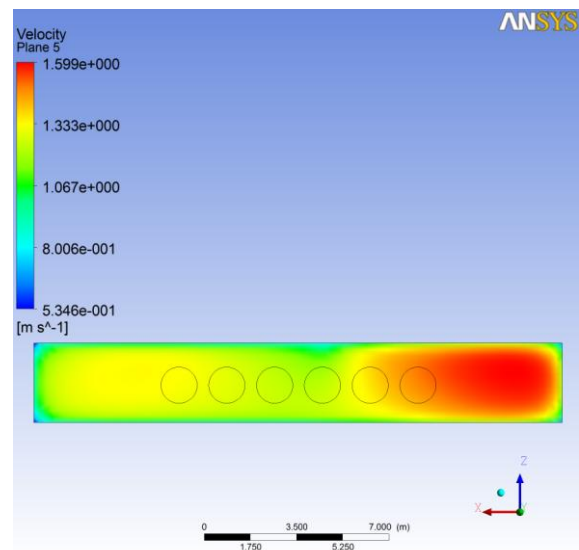
(a)



(b)

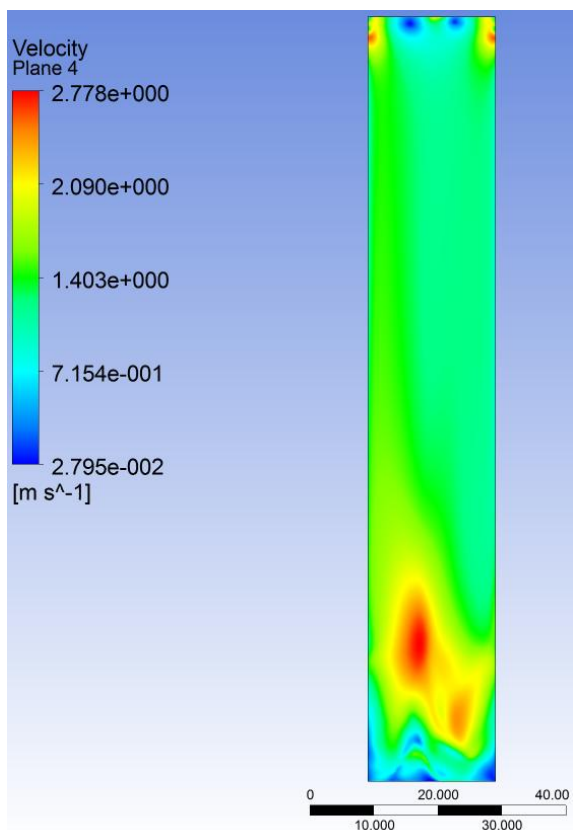


(c)

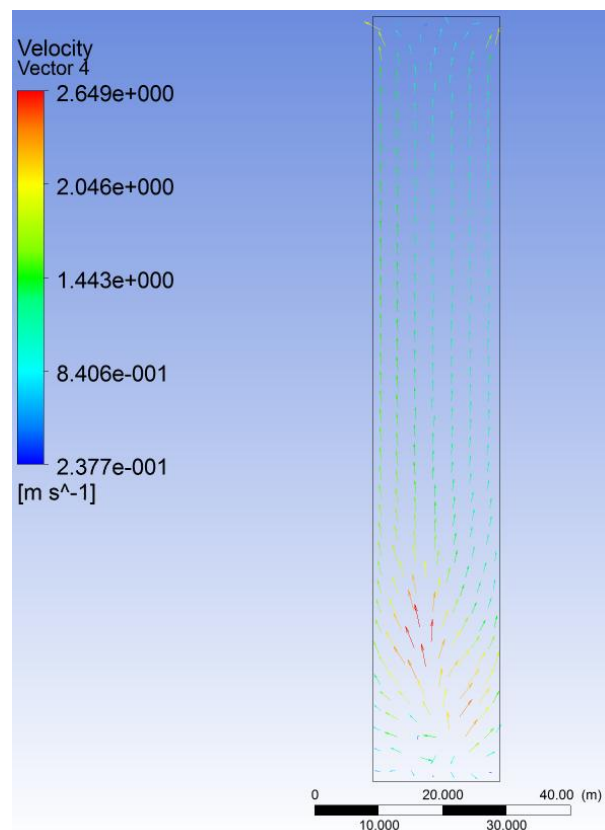


(d)

Figura 93. Resultado da Simulação Original do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.

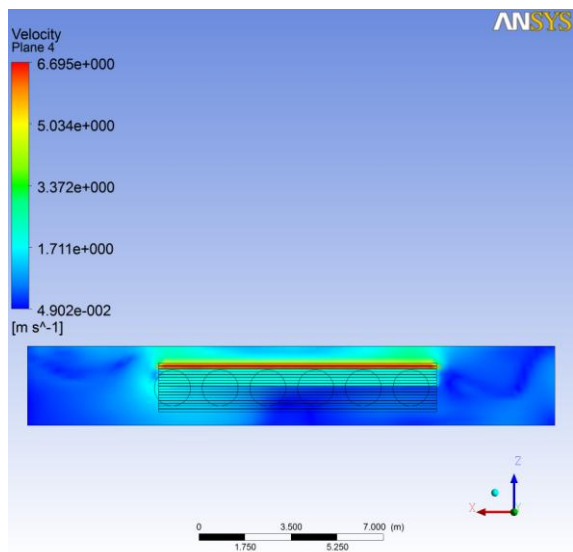


(a)

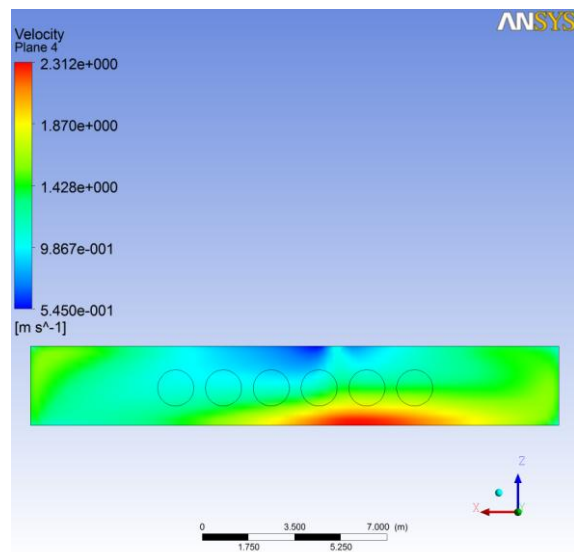


(b)

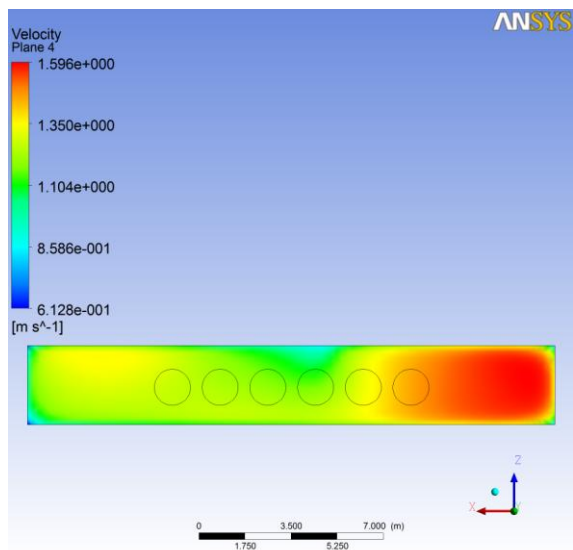
Figura 94. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 1 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).



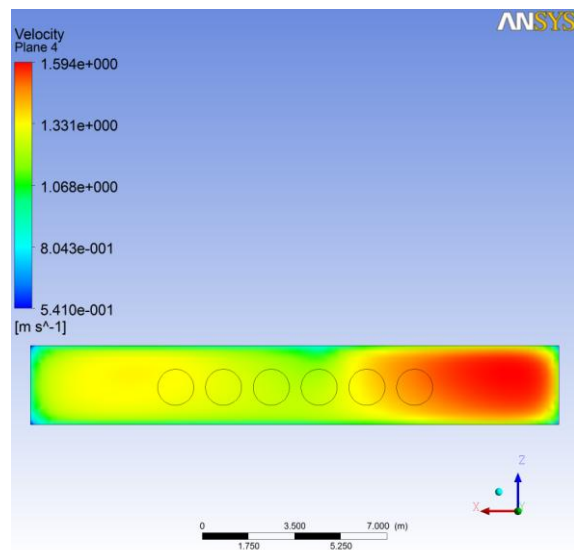
(a)



(b)

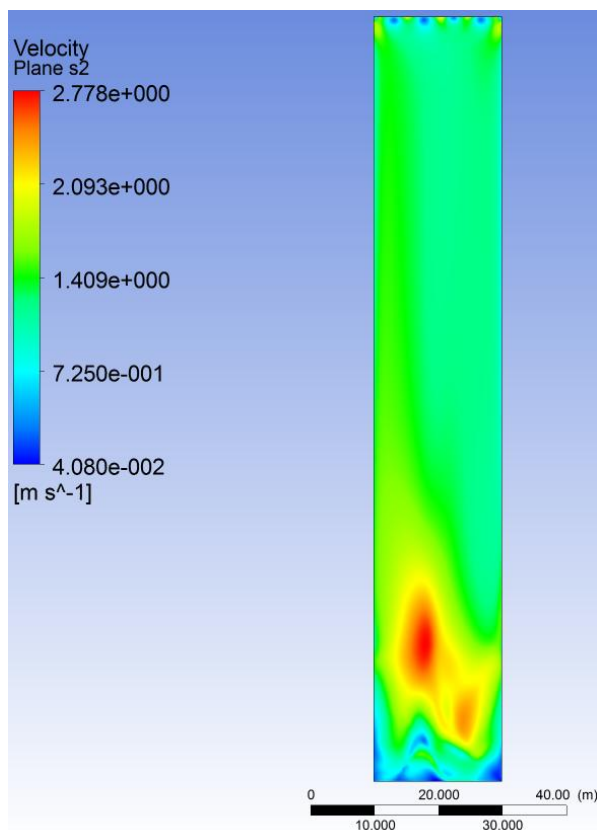


(c)

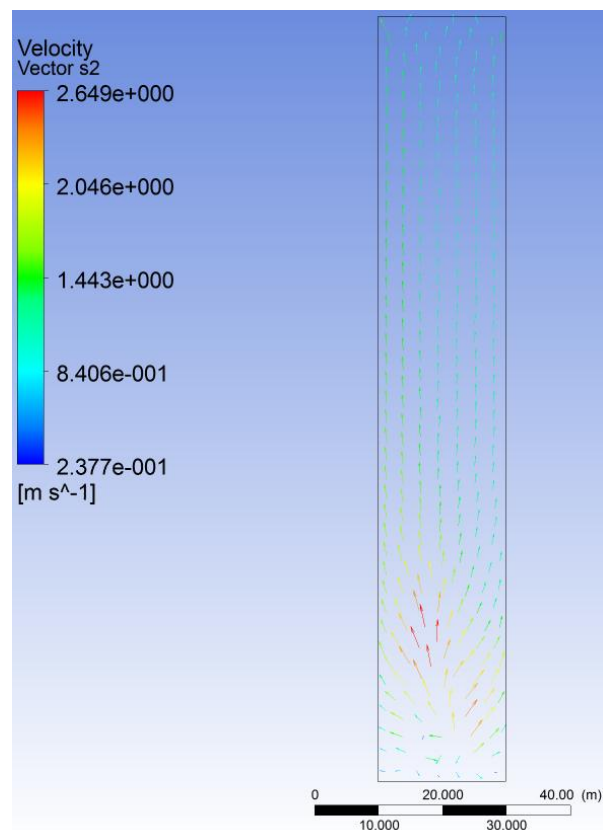


(d)

Figura 95. Resultado da Simulação 1 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.



(a)



(b)

Figura 96. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 2 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).

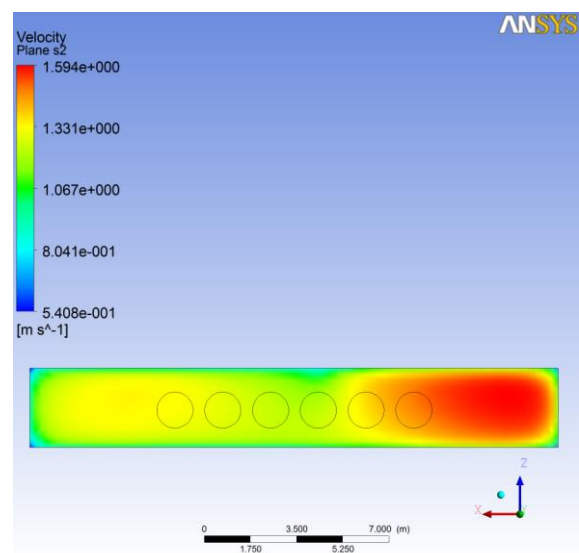
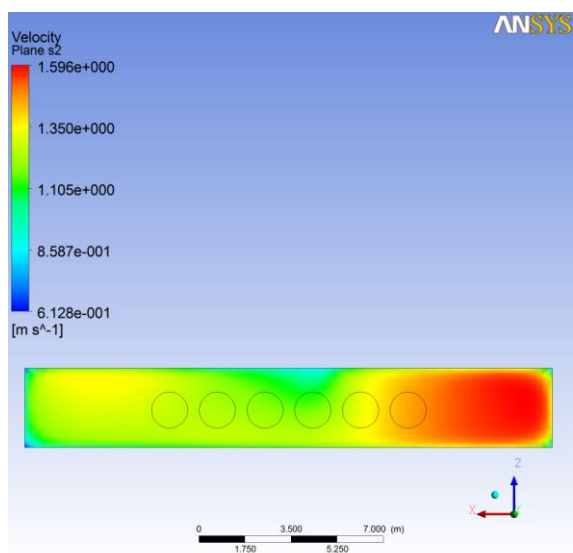
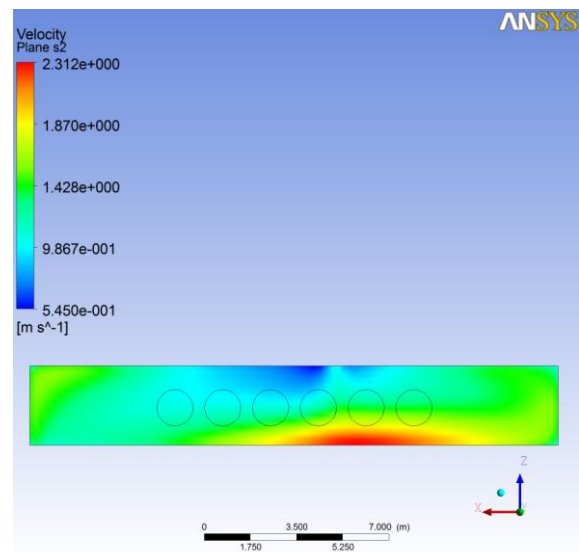
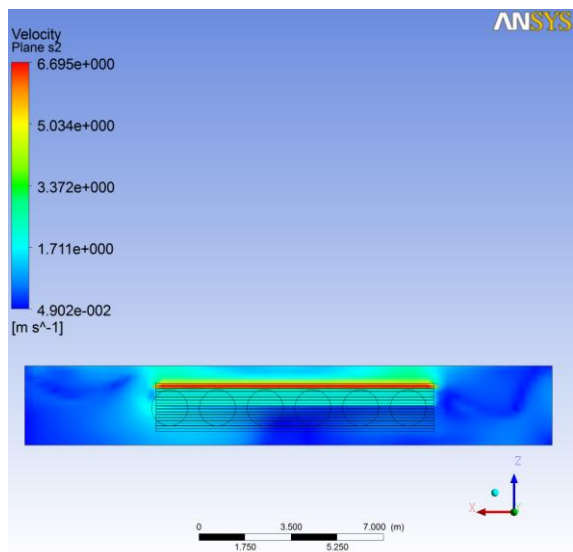
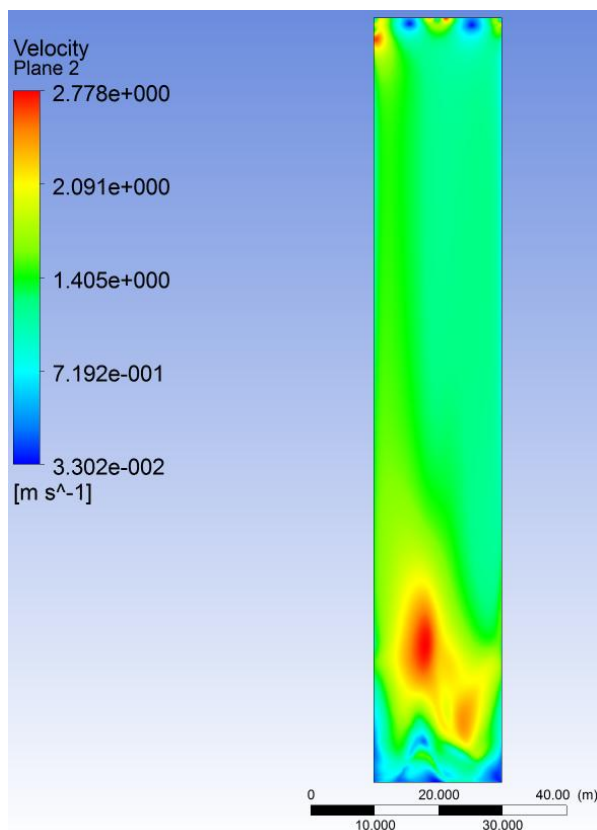
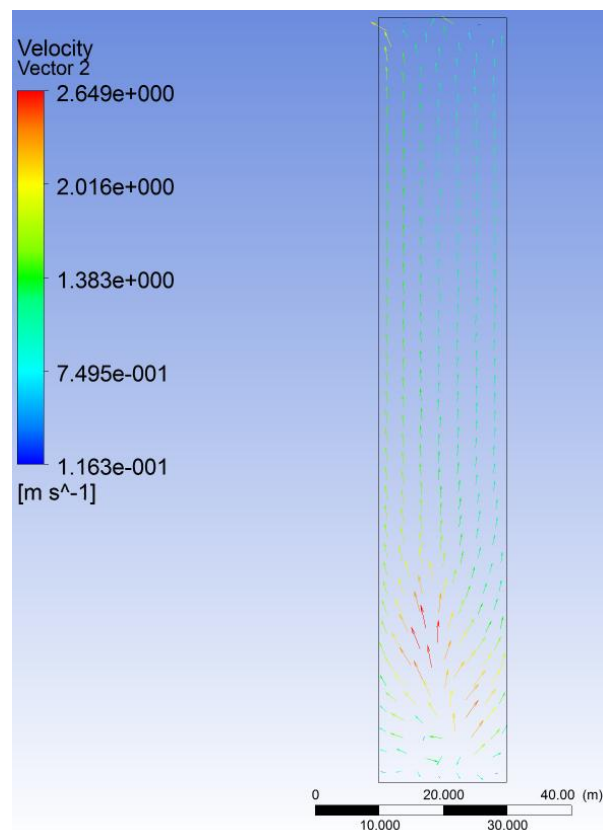


Figura 97. Resultado da Simulação 2 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.

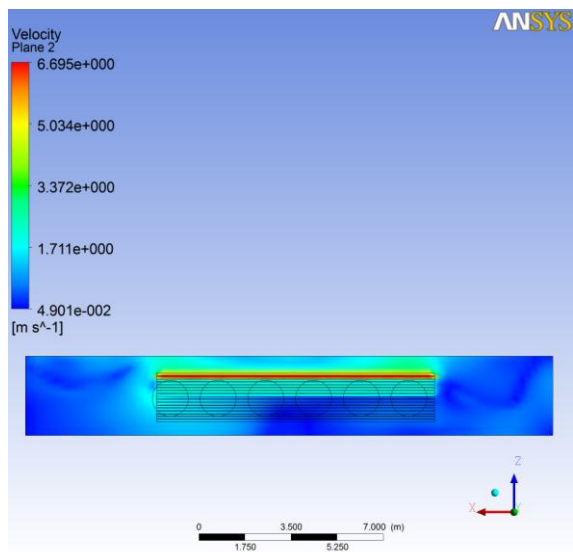


(a)

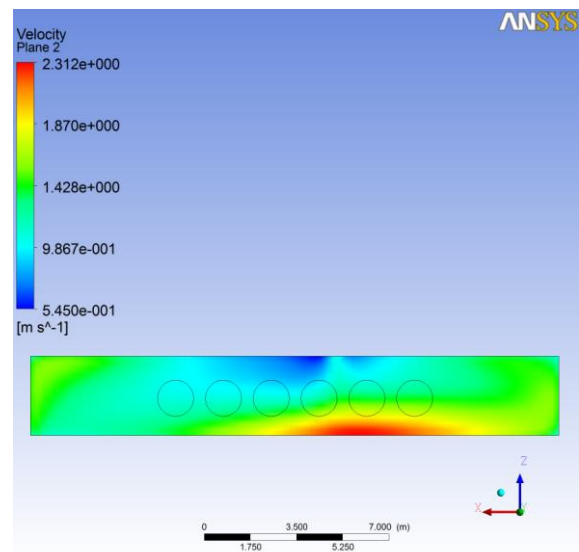


(b)

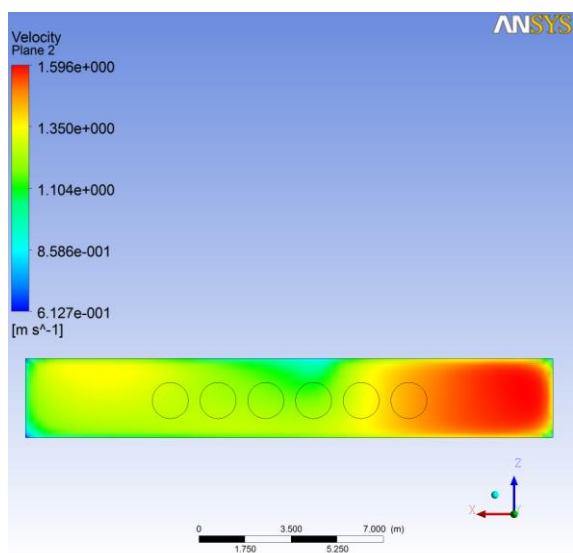
Figura 98. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 3 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).



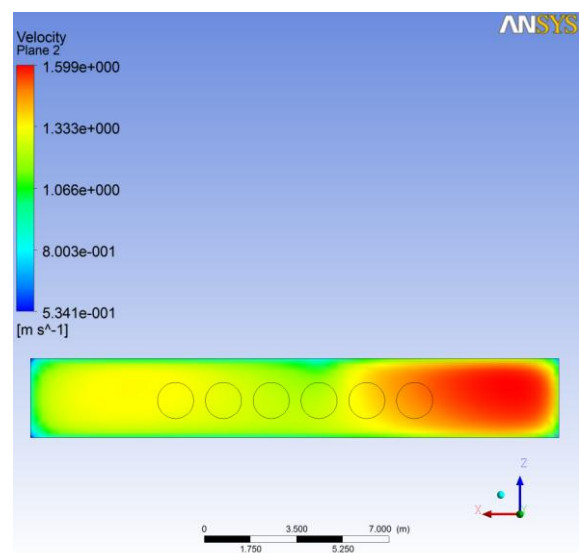
(a)



(b)

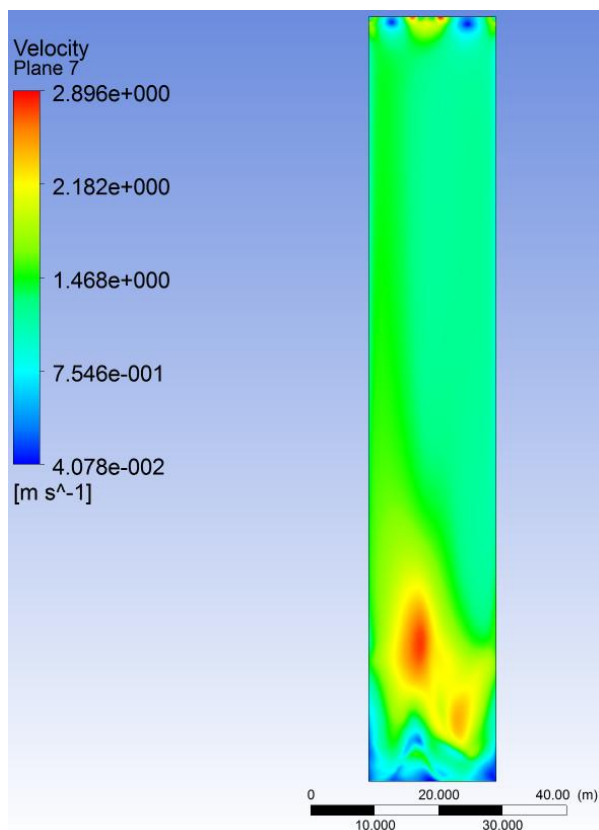


(c)

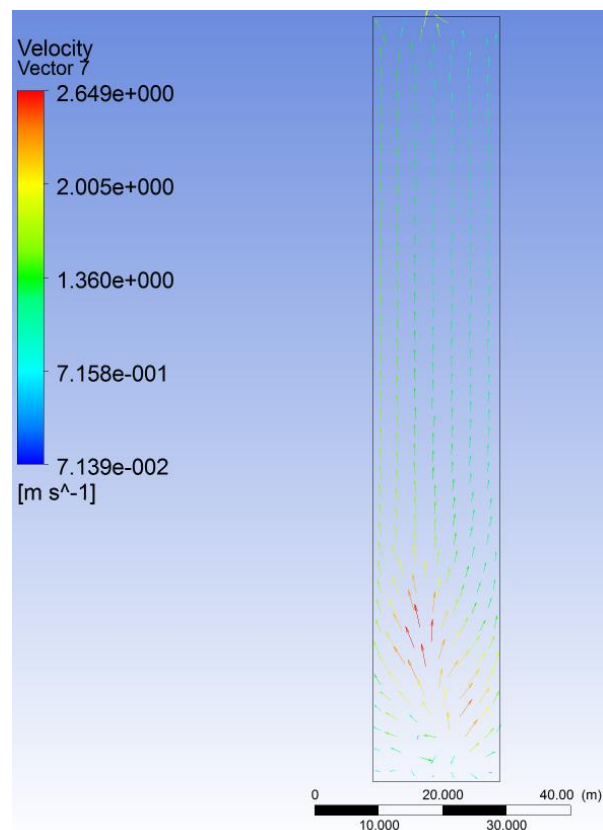


(d)

Figura 99. Resultado da Simulação 3 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.

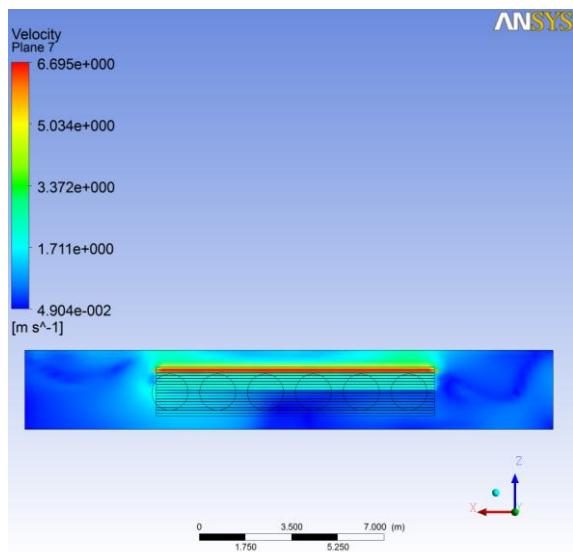


(a)

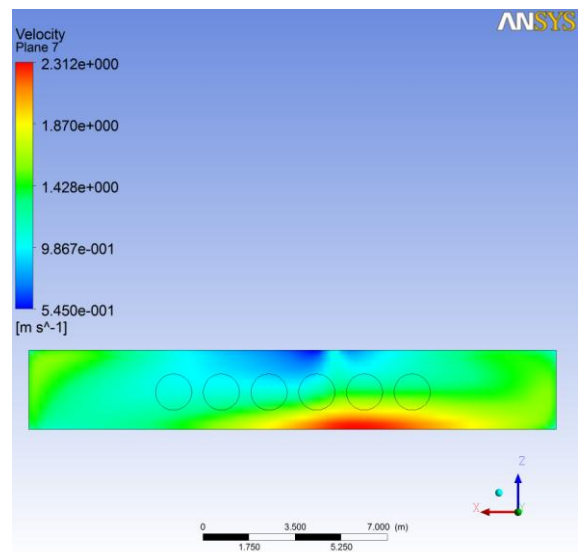


(b)

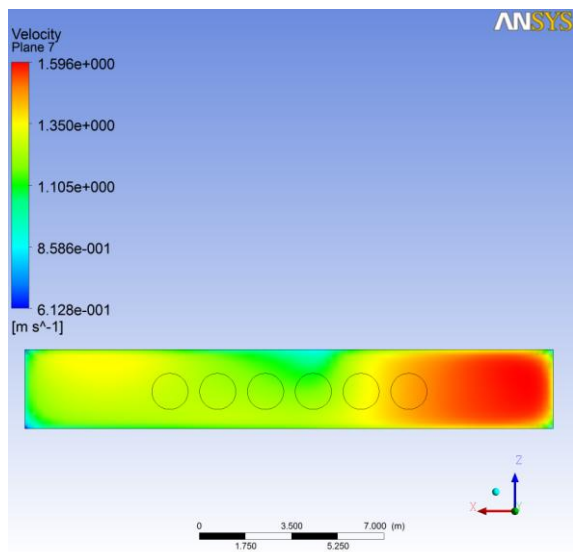
Figura 100. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 4 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).



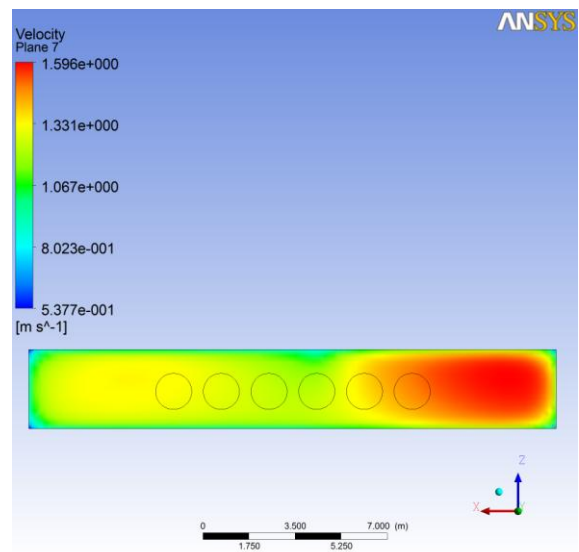
(a)



(b)

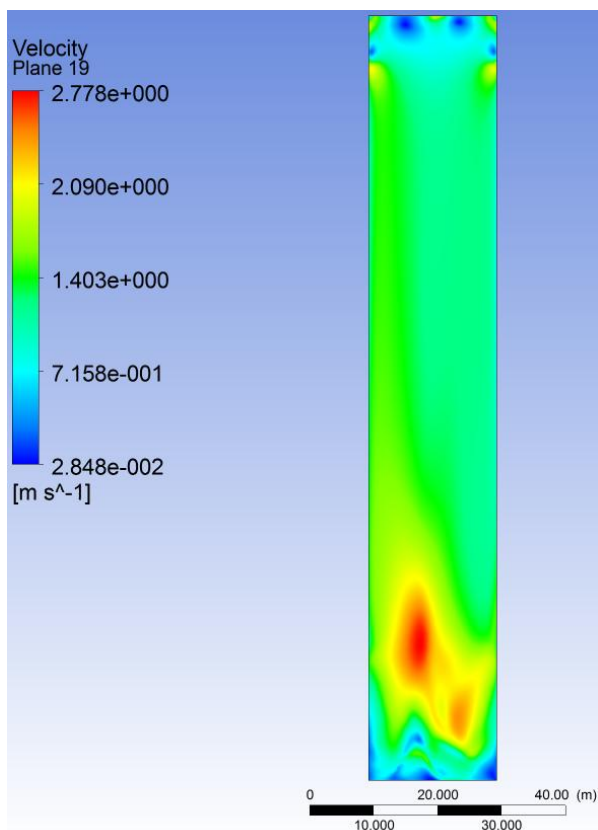


(c)

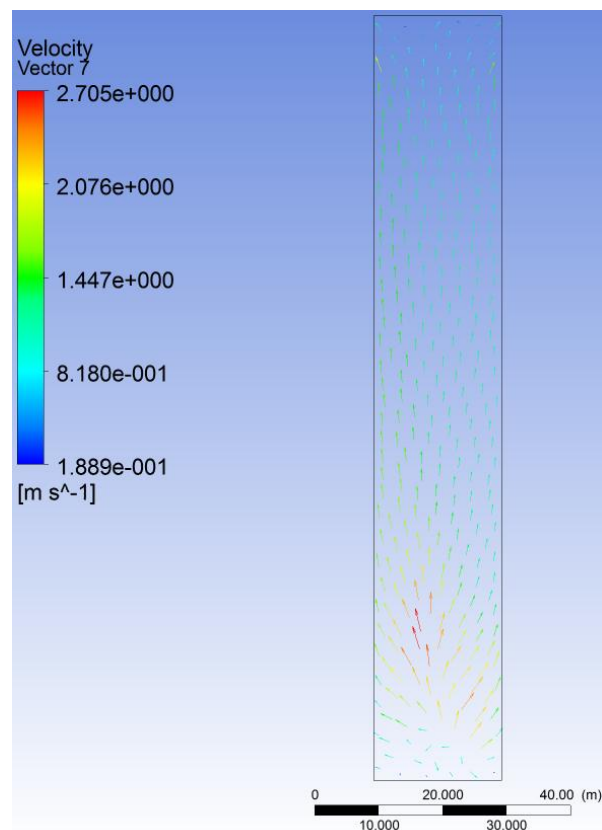


(d)

Figura 101. Resultado da Simulação 4 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.

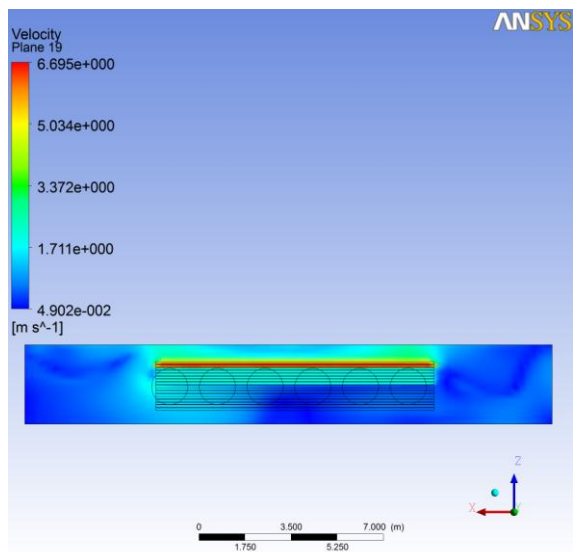


(a)

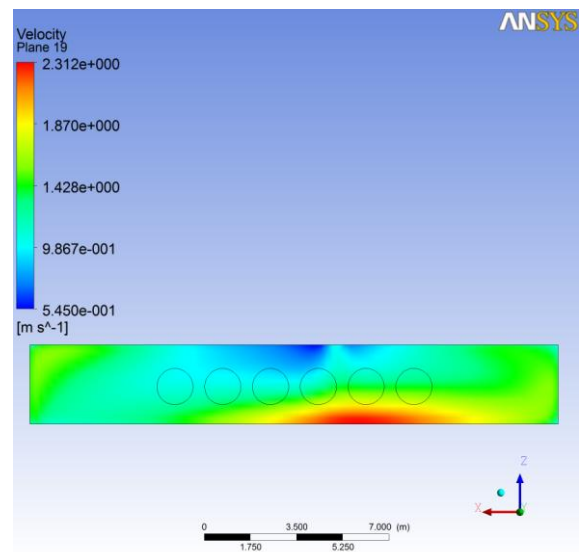


(b)

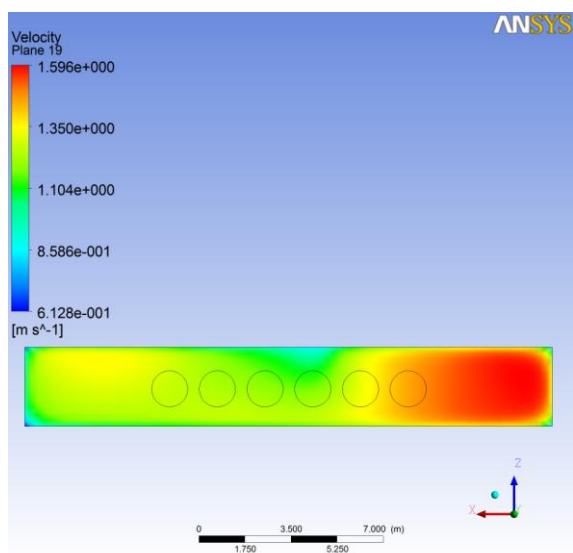
Figura 102. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 5 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).



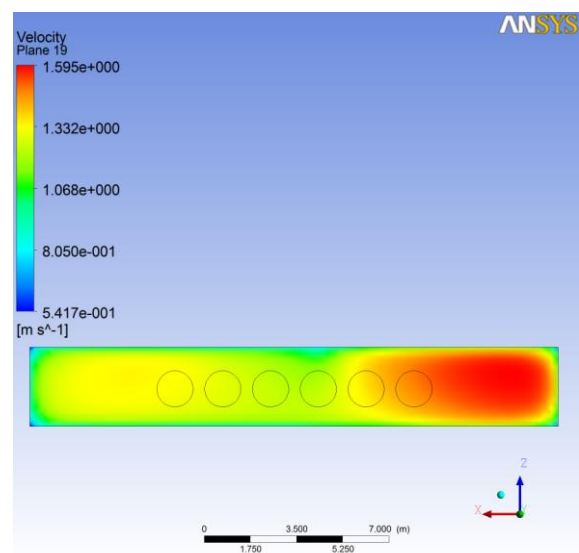
(a)



(b)

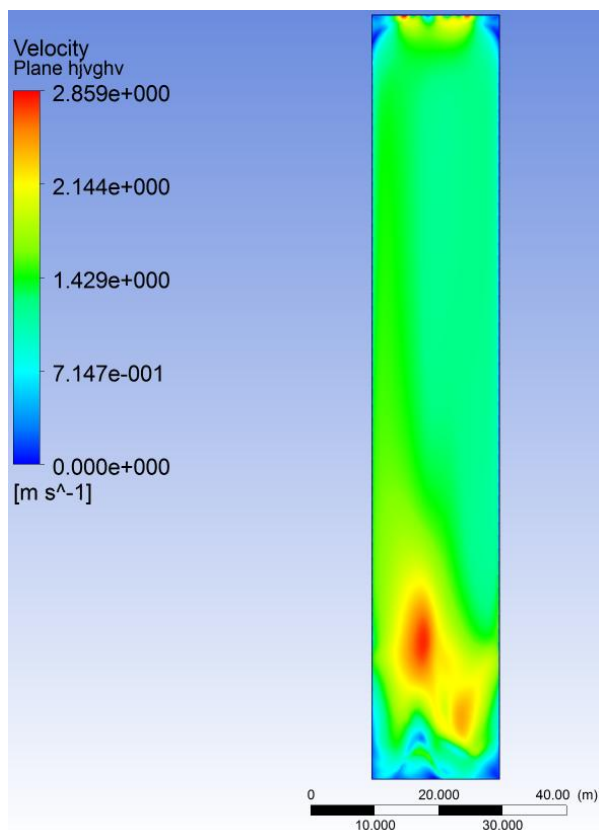


(c)

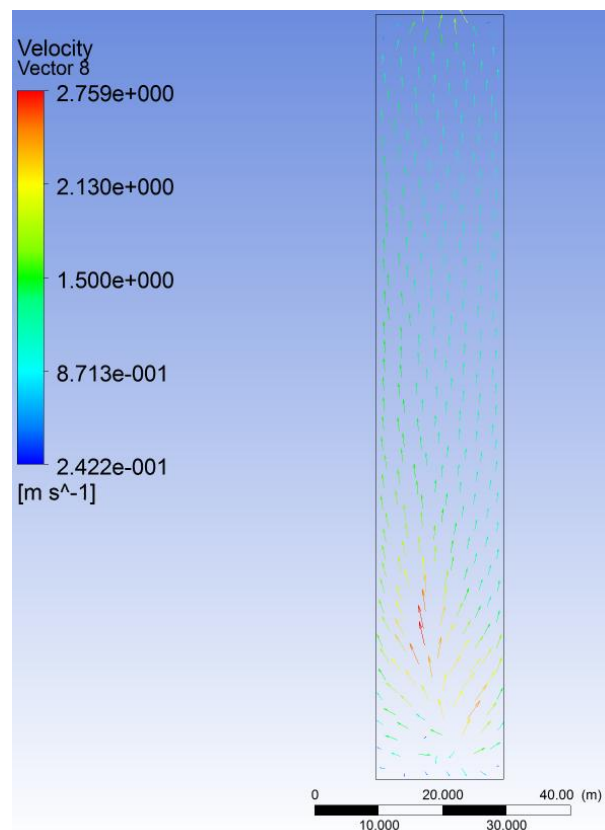


(d)

Figura 103. Resultado da Simulação 5 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.

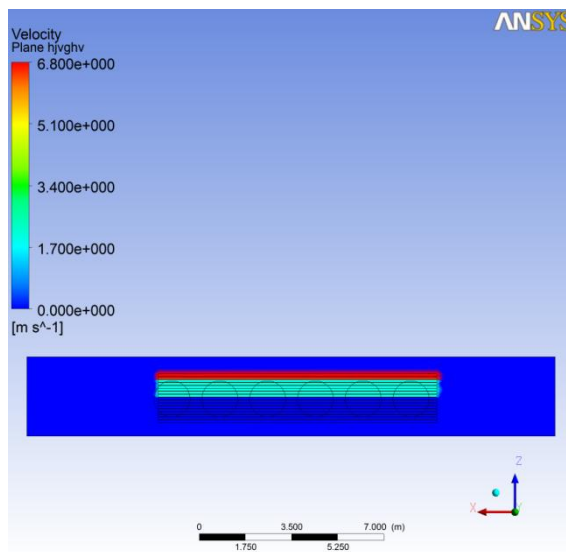


(a)

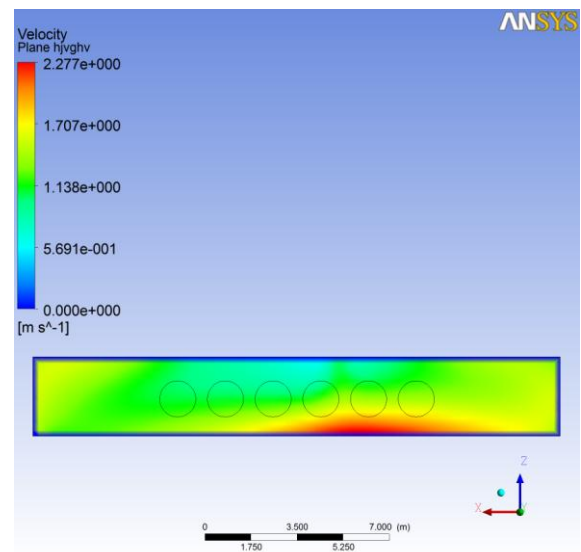


(b)

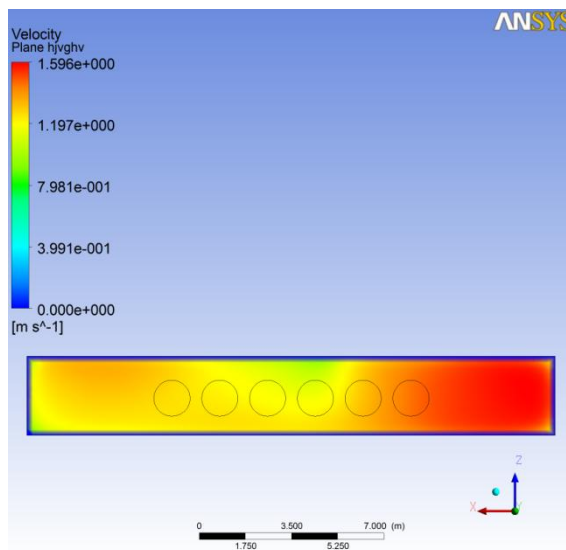
Figura 104. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 6 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).



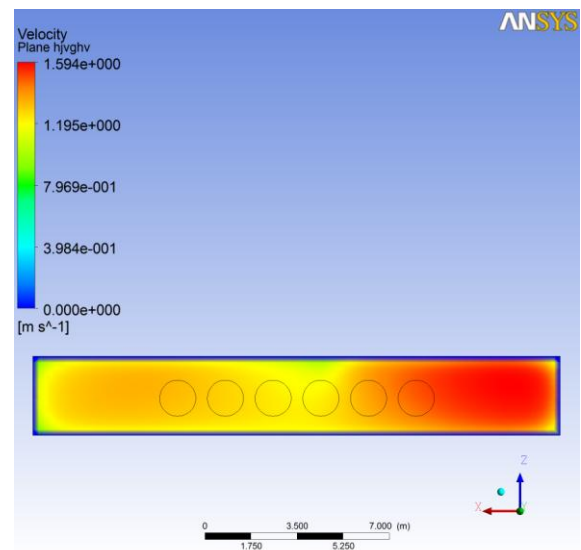
(a)



(b)

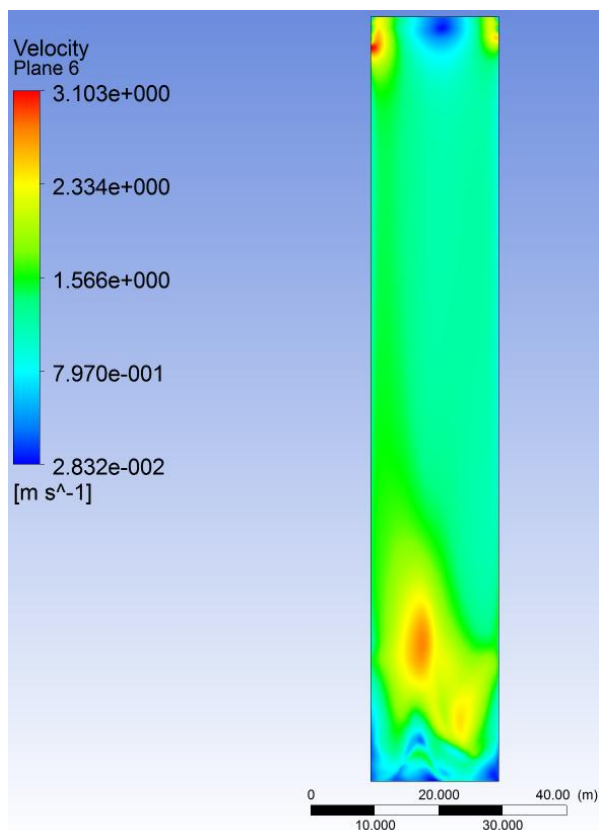


(c)

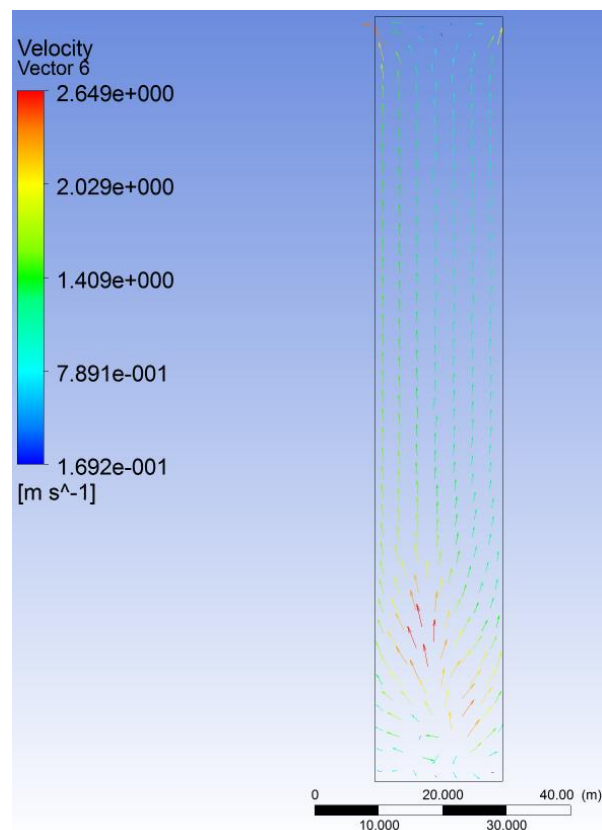


(d)

Figura 105. Resultado da Simulação 6 do CFD no sentido transversal do aviário à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.

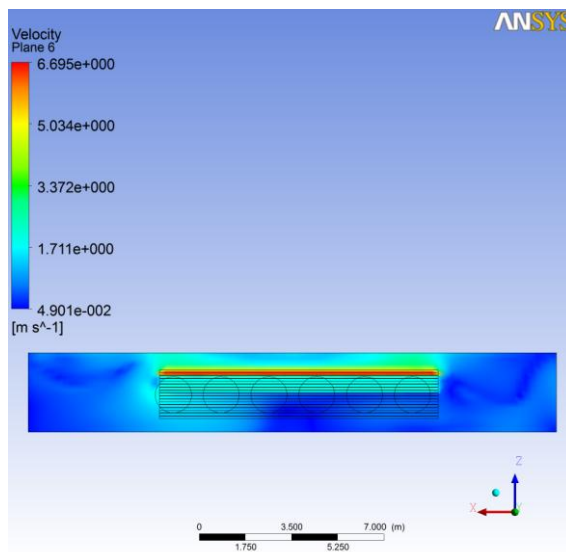


(a)

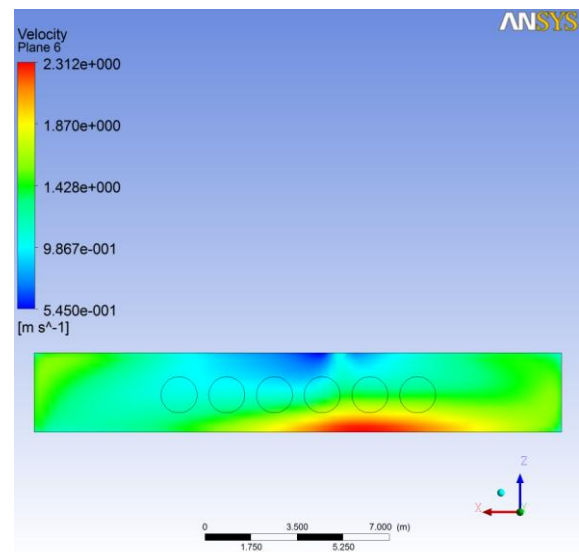


(b)

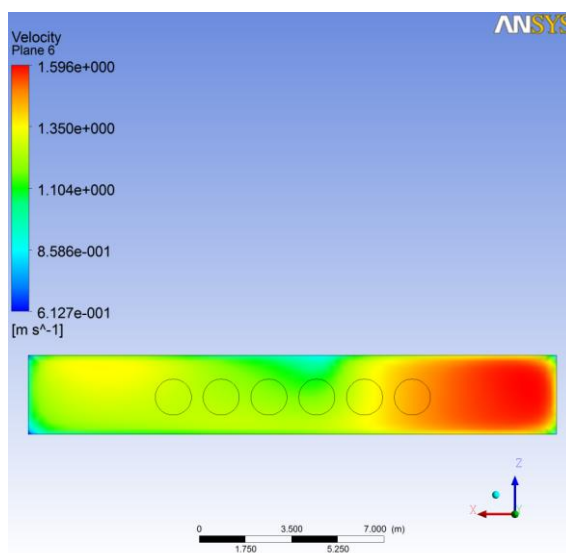
Figura 106. Distribuição da velocidade do ar na altura das aves para a Simulação 7 (a) e representação vetorial do fluxo de ar no interior do aviário (b).



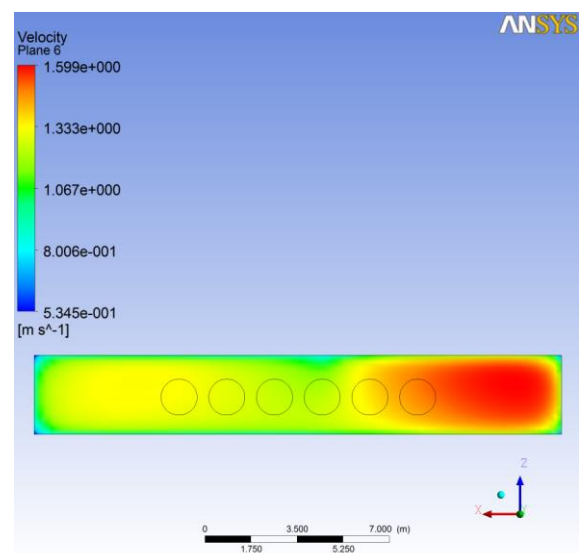
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 107. Resultado da Simulação 7 do CFD no sentido transversal do avião à 0 m (a), 30 m (b), 60 m (c) e 90 m (d) do painel evaporativo traseiro.

5.5.5 Considerações finais dos resultados da modelagem CFD

A técnica do CFD é um método eficiente e viável para visualização do encaminhamento do ar em diferentes condições de funcionamento dos exaustores, embora seja necessário que o

usuário apresente conhecimento de dinâmica dos fluídos. Neste sentido, o controlador do sistema de ventilação é capaz de definir qual o arranjo mais adequado para as trocas de ar.

5.6 Redes neurais

Os sistemas especialistas são cada vez mais empregados na predição de parâmetros de produção animal auxiliando na tomada de decisão. Neste estudo, as redes neurais foram utilizadas na construção de um modelo para predição da vazão ideal dos exaustores nas granjas frente às condições climáticas (temperatura, umidade relativa, velocidade do ar) e aéreas (concentração de amônia e dióxido de carbono) internas e condições climáticas (temperatura e umidade relativa) externas aos aviários estudados, sendo eles, *Blue House*, *Dark House*, *Double Wide House* e *Solid Wall*. O modelo de redes neurais foi construído no programa WEKA[®] (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) versão 3.6.9 (2013) através do algoritmo backpropagation para a construção das redes neurais – *Multi Layer Perceptron* (MLP).

Os resultados das redes neurais apresentaram o quão deveria aumentar ou diminuir a vazão dos exaustores com a finalidade de manter as condições ambientais e aéreas internas ideais para a produção de frango de corte, uma vez que ambientes quentes prejudicam respostas produtivas, condições metabólicas e de saúde e as respostas imunológicas dos animais (NARDONE et al., 2010), além da qualidade da carne (GREGORY, 2010). O modelo de redes neurais apresentou 3 camadas, sendo a camada de entrada com 15 neurônios, camada oculta com 8 neurônios na camada oculta e 1 neurônio para na camada de saída (Figura 108).

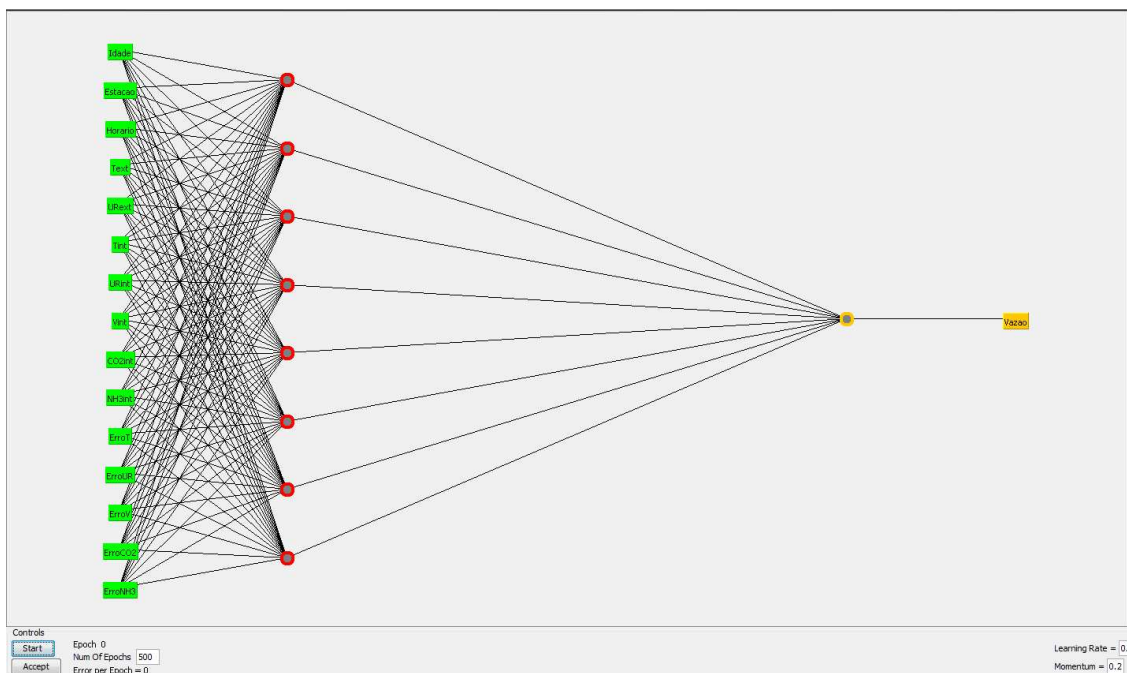


Figura 108. Topologia das redes neurais utilizadas na previsão da vazão do ar nos quatro aviários estudados.

5.6.1 Redes neurais para o aviário *Blue House*

O modelo de redes neurais apresentou três camadas, sendo a camada de entrada com 15 neurônios (idade, estação, horário, temperatura externa, umidade relativa externa, temperatura interna, umidade relativa interna, velocidade do ar interna, concentração de CO_2 interna, concentração de NH_3 interna, erro da temperatura, erro da umidade relativa, erro da velocidade do ar, erro da concentração de CO_2 interna e erro da concentração de NH_3 interna), camada oculta com valor médio entre o número de atributos e o número de classe, ou seja, oito neurônios na camada oculta, um neurônio para na camada de saída (vazão).

A taxa de aprendizado (onde os pesos sinápticos são atualizados) escolhida foi de 0,3, o momento (momento aplicado aos pesos sinápticos durante a atualização) de 0,2, devido à baixa complexibilidade do modelo foi utilizado 500 épocas para treinar o modelo, ou seja, o número de vezes em que o conjunto de treinamento foi apresentado à rede. Como citado por Pandorfi et al. (2011), redes neurais do tipo *Multi Layer Perceptron* (MLP) apresentou dificuldades na definição dos seus parâmetros, entretanto sua arquitetura apresenta maior sensibilidade. Em relação à

performance, foram obtidos valores de erro abaixo de 0,0000737. Os parâmetros do modelo para avaliação da sua precisão estão apresentados na Tabela 65.

Tabela 65. Parâmetros de avaliação da acurácia do modelo de redes neurais.

Parâmetros	Valores
Coeficiente de correlação	0,9999
Erro médio absoluto	0,3062
Raiz quadrada do erro quadrático médio	0,4011
Erro relativo absoluto	1,1726 %
Raiz quadrada do erro quadrático relativo	1,3359 %
Número total de instancias	832

O conjunto de treinamento foi apresentado à rede neural para que o algoritmo *backpropagation* retropropagasse os erros. A Figura 109 apresenta o erro obtido para cada *fold* (entre zero e 10), sendo que todos foram apresentados às redes neurais 500 vezes, ou seja, utilizou-se 500 épocas para cada *fold*. Neste caso, o modelo com precisão na ordem de 0,0000622 (Figura 109), é possível afirmar que o treinamento convergiu e o modelo de predição da vazão do ar nos exaustores foi capaz de auxiliar na tomada à decisão do controlador.

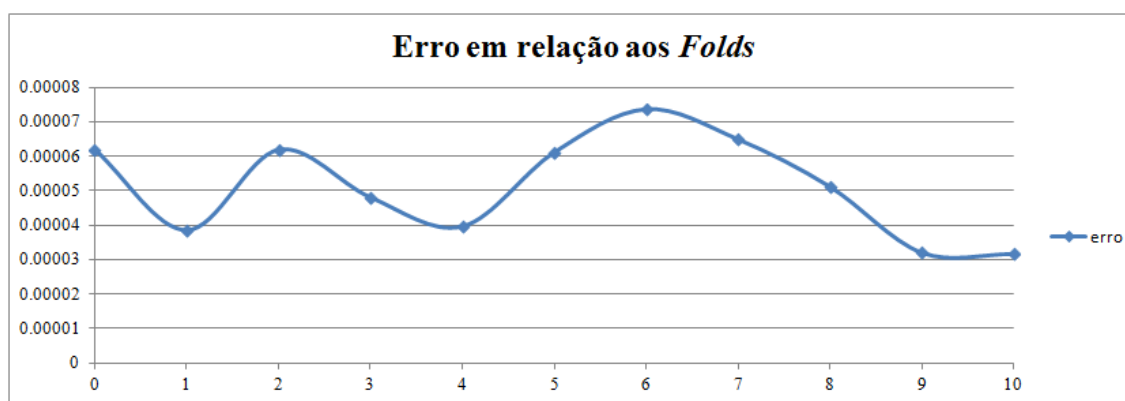


Figura 109. O erro obtido para cada *fold* com 500 épocas.

A Figura 110 apresenta o aprendizado das redes neurais, com o coeficiente de determinação igual à $R^2 = 0,9998$, reforçando que as variáveis de entrada podem ser utilizadas para predição da vazão dos exaustores.

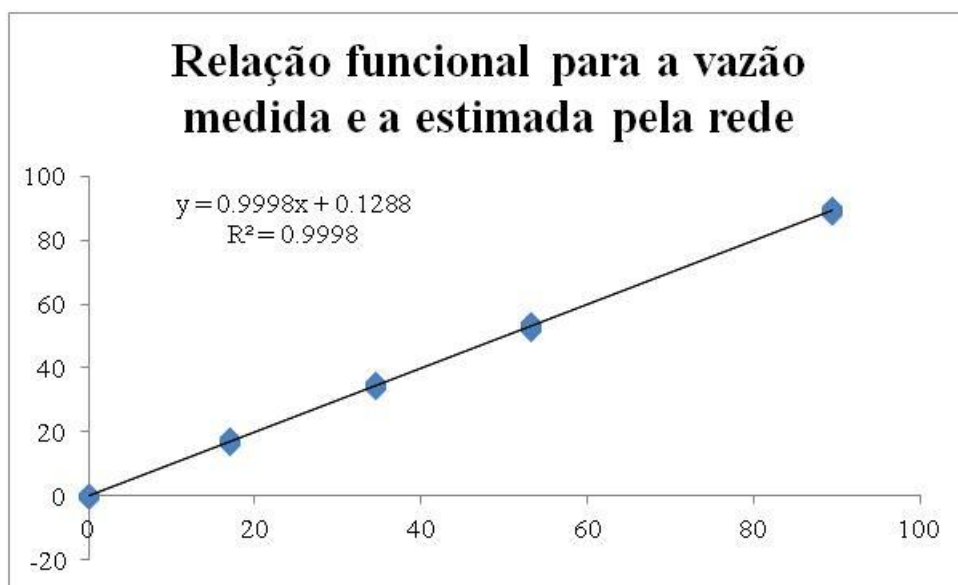


Figura 110. Relação funcional para a vazão medida e a estimada pela rede neural.

As Figuras 111, 112, 113 e 114 apresentam os resultados de predição da rede neural (linha verde seguida de triângulo) em relação à vazão dos exaustores no momento da coleta de dados (vermelho seguida de quadrado), e a diferença entre os valores da vazão medida e estimada em porcentagem.

É possível observar pelas Figuras 111, 112, 113 e 114 que, na maioria dos casos, o modelo da rede neural optou por aumentar a quantidade de vazão dos exaustores (linha roxa seguida de cruzeiros) em 67,31%, 62,02%, 67,32% e 62,01% dos casos, respectivamente. Sendo que no máximo foi recomendado que se aumentasse a vazão do ar em 92,42% através dos exaustores, o que representa dobrar o número de exaustores acionados no momento da coleta de dados, enquanto que foi recomendado pela rede neural no máximo reduzir em 19,08% a vazão do ar através dos exaustores. Esta predição visou melhorar as condições internas onde as aves estão alocadas em relação às condições térmicas e aéreas, levando em consideração as condições ambientais externas também.

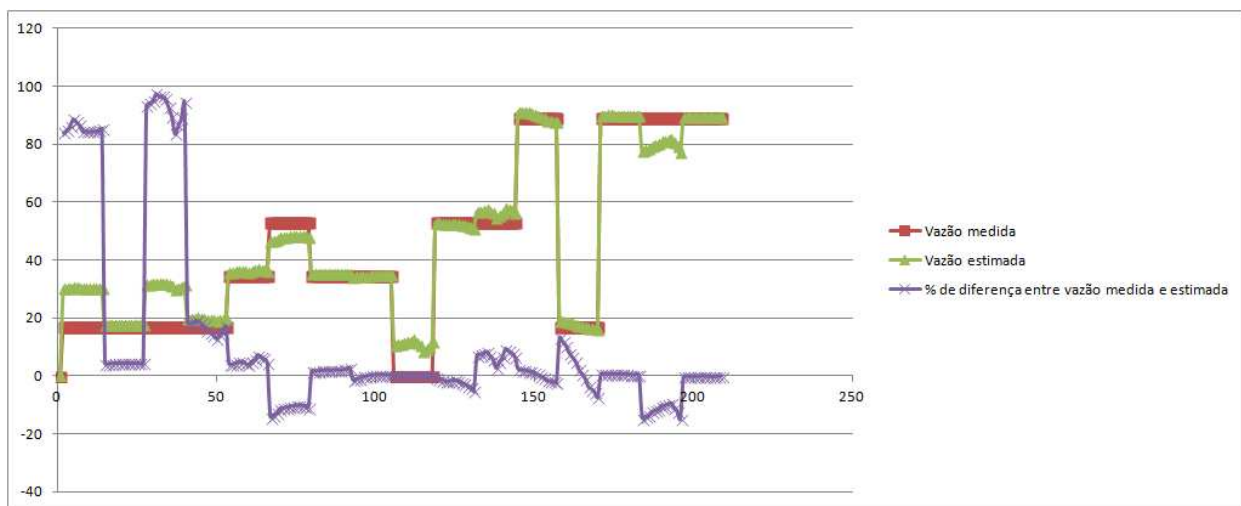


Figura 111. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000622).

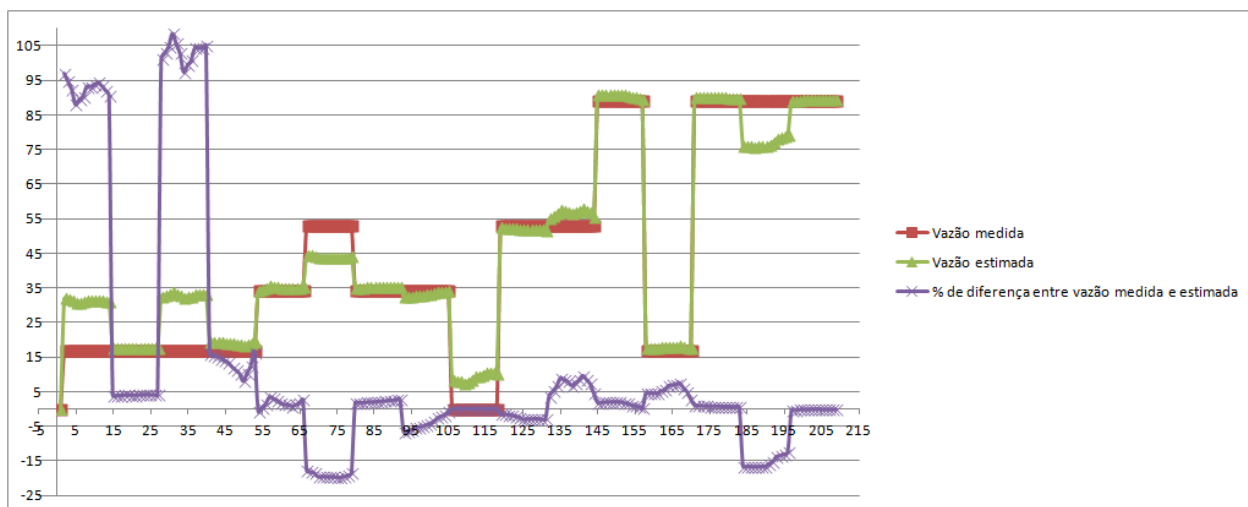


Figura 112. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000622).

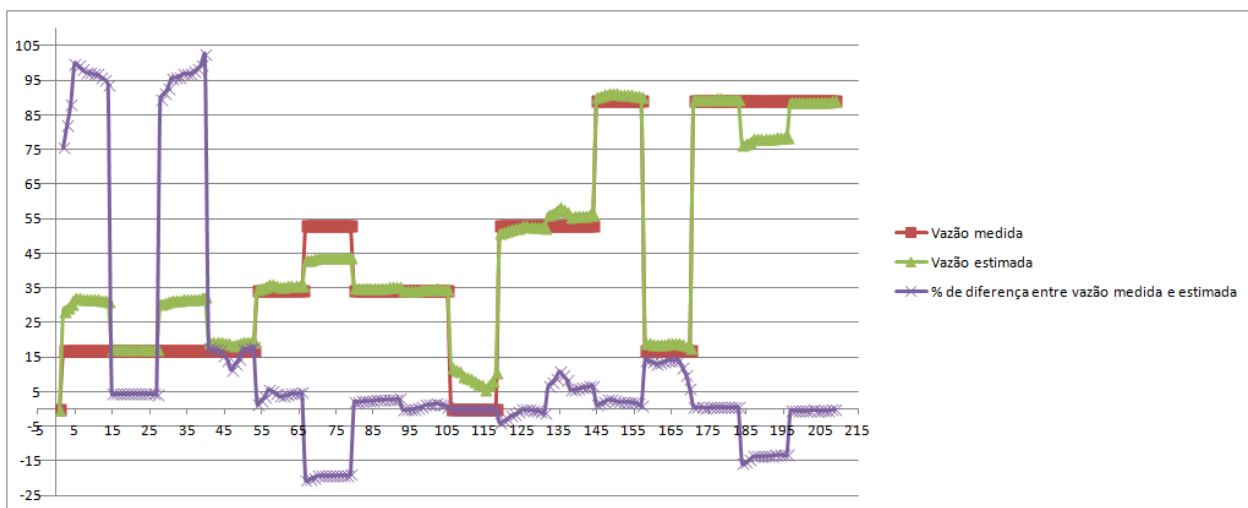


Figura 113. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000622).

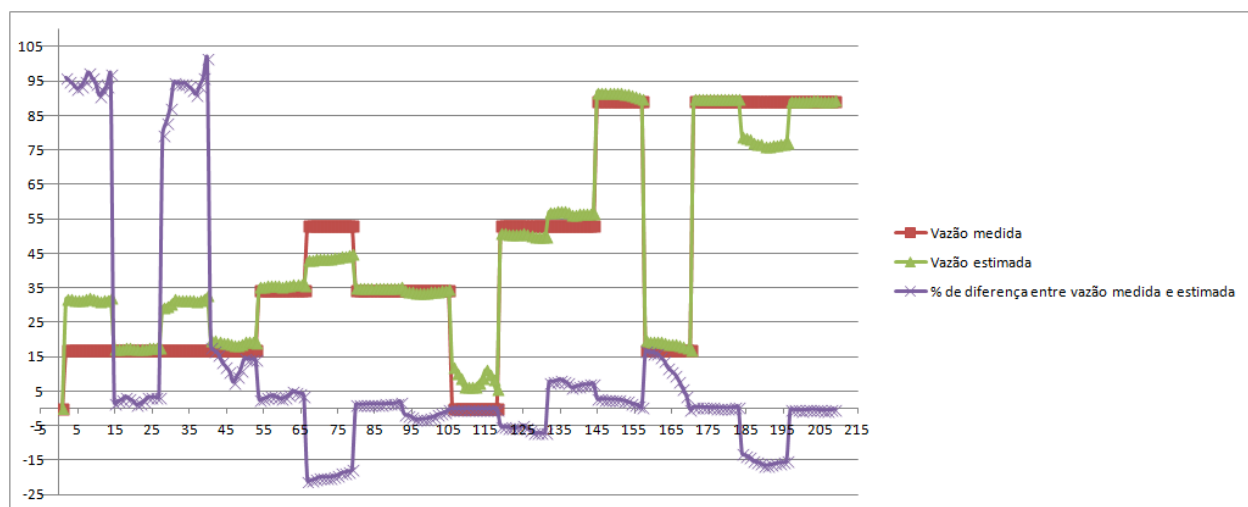


Figura 114. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000622).

5.6.2 Redes neurais para o aviário *Dark House*

O modelo de redes neurais apresentou três camadas, sendo a camada de entrada com 15 neurônios (idade, estação, horário, temperatura externa, umidade relativa externa, temperatura interna, umidade relativa interna, velocidade do ar interna, concentração de CO₂ interna, concentração de NH₃ interna, erro da temperatura, erro da umidade relativa, erro da velocidade

do ar, erro da concentração de CO₂ interna e erro da concentração de NH₃ interna, camada oculta com valor médio entre o número de atributos e o número de classe, ou seja, 8 neurônios na camada oculta, 1 neurônio para na camada de saída (vazão).

A taxa de aprendizado (onde os pesos sinápticos são atualizados) escolhida foi de 0,3, o momento (momento aplicado aos pesos sinápticos durante a atualização) de 0,2, devido à baixa complexibilidade do modelo foi utilizado 500 épocas para treinar o modelo, ou seja, o número de vezes em que o conjunto de treinamento foi apresentado à rede. Em relação à performance, foram obtidos valores de erro abaixo de 0,0000342. Os parâmetros do modelo para avaliação da sua precisão estão apresentados na Tabela 66.

Tabela 66. Parâmetros de avaliação da acurácia do modelo de redes neurais.

Parâmetros	Valores
Coefficiente de correlação	1,0000
Erro médio absoluto	0,1430
Raiz quadrada do erro quadrático médio	0,1944
Erro relativo absoluto	0,9436 %
Raiz quadrada do erro quadrático relativo	0,9234 %
Número total de instancias	832

O conjunto de treinamento foi apresentado à rede neural para que o algoritmo backpropagation retropropagasse os erros. A Figura 115 apresenta o erro obtido para cada *fold* (entre zero e 10), sendo que todos foram apresentados à rede neural 500 vezes, ou seja, utilizou-se 500 épocas para cada *fold*. Neste caso, o modelo com precisão na ordem de 0,0000117 (Figura 115), é possível afirmar que o treinamento convergiu e o modelo de predição da vazão do ar nos exaustores foi capaz de auxiliar na tomada à decisão do controlador.

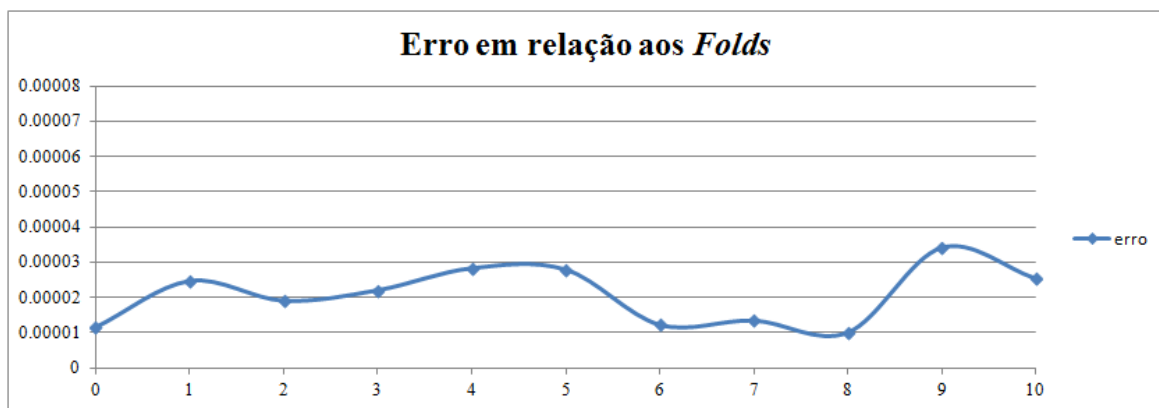


Figura 115. O erro obtido para cada *fold* com 500 épocas.

A Figura 116 apresenta o aprendizado das redes neurais, com o coeficiente de determinação igual à $R^2 = 0,9999$, reforçando que as variáveis de entrada podem ser utilizadas para predição da vazão dos exaustores.

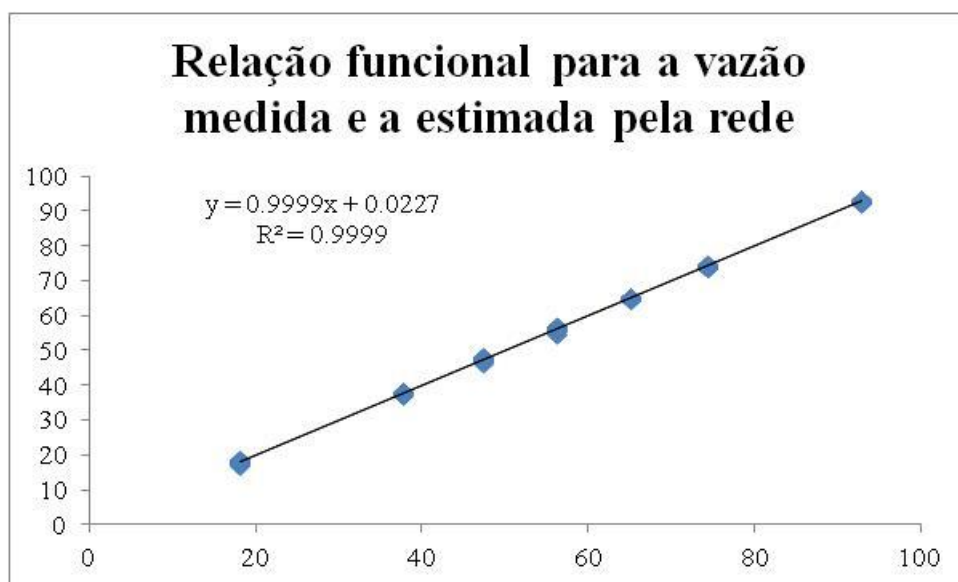


Figura 116. Relação funcional para a vazão medida e a estimada pela rede neural.

As Figuras 117, 118, 119 e 120 apresentam os resultados de predição da rede neural (linha verde seguida de triângulo) em relação à vazão dos exaustores no momento da coleta de dados (vermelho seguida de quadrado), e a diferença entre os valores da vazão medida e estimada em porcentagem.

É possível observar pelas Figuras 117, 118, 119 e 120 que, na maioria dos casos, o modelo da rede neural optou por reduzir a quantidade de vazão dos exaustores (linha roxa seguida de cruces) em 70,67%, 70,08%, 65,87% e 76,92% dos casos, respectivamente. Esta predição do modelo demonstra que, segundo o banco de dados, o sistema de ventilação esteve em funcionamento adequado, uma vez que quando o modelo sugere aumentar em 1,48 % da vazão dos exaustores ou reduzir em 4,07 % da vazão dos exaustores em relação à vazão medida, o que representa menos que um exaustor em funcionamento. Outra hipótese para o ocorrido é que o banco de dados utilizado no treinamento e validação limitou o aprendizado da rede neural e, por consequência, não foi capaz de prever a vazão, entretanto a renovação do ar foi adequada para manter a concentração do ar em níveis abaixo do limite máximo. Os dados da estatística reforçam esta hipótese, os quais mostraram que as condições de conforto térmico estiveram fora do intervalo considerado ideal, sendo que os sistemas de ventilação e de resfriamento poderiam auxiliar de forma positiva.

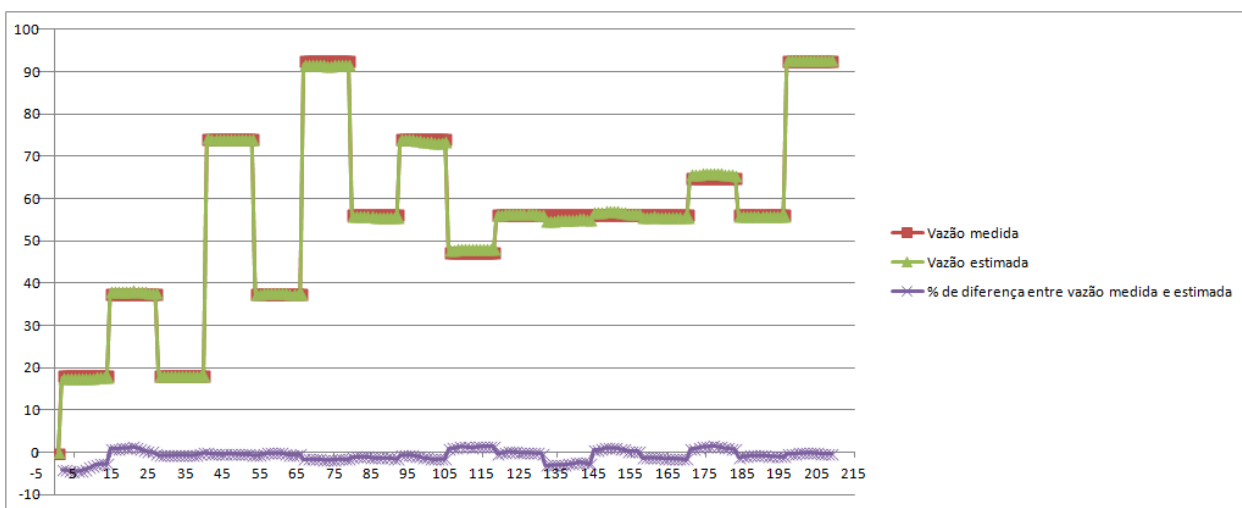


Figura 117. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000117).

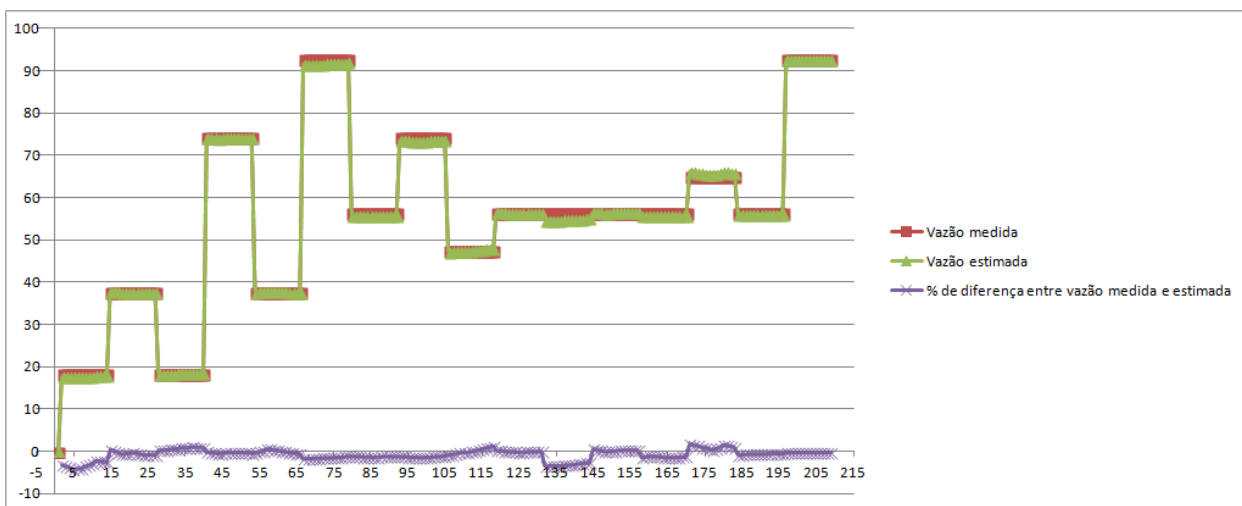


Figura 118. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000117).

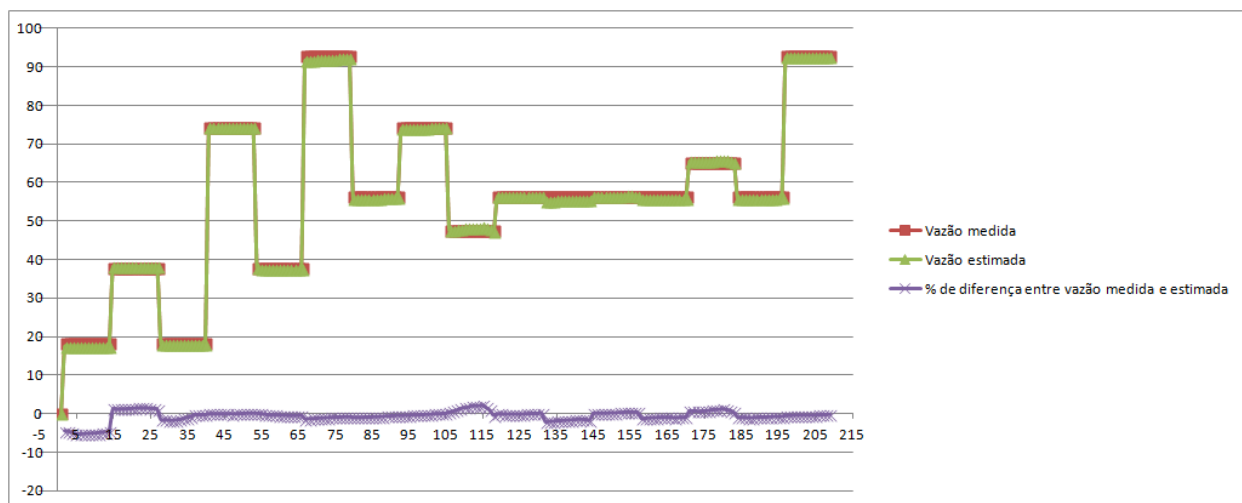


Figura 119. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000117).

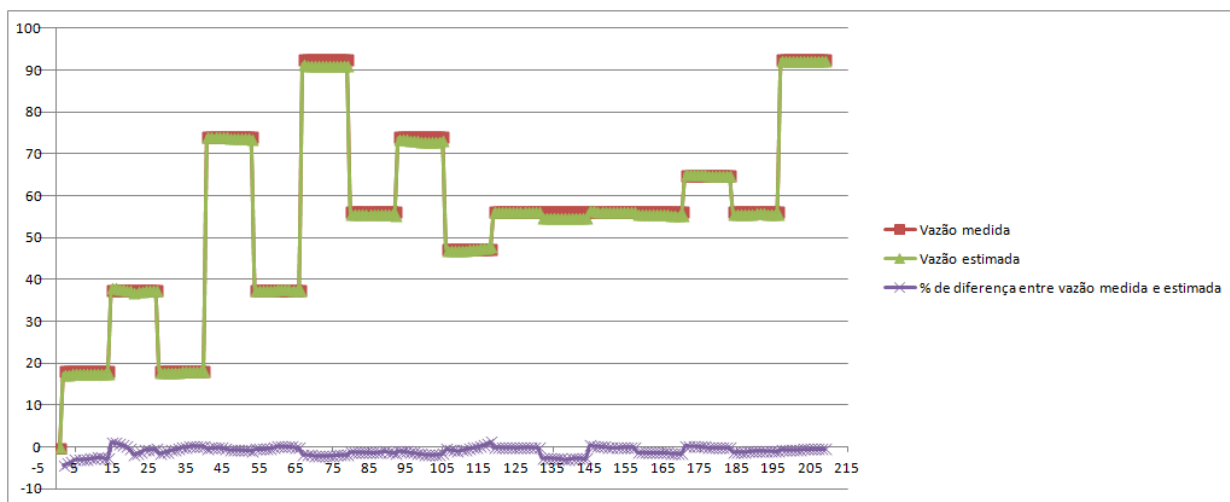


Figura 120. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000117).

5.6.3 Redes neurais para o aviário *Double Wide House*

O modelo de redes neurais apresentou três camadas, sendo a camada de entrada com 15 neurônios (idade, estação, horário, temperatura externa, umidade relativa externa, temperatura interna, umidade relativa interna, velocidade do ar interna, concentração de CO₂ interna, concentração de NH₃ interna, erro da temperatura, erro da umidade relativa, erro da velocidade do ar, erro da concentração de CO₂ interna e erro da concentração de NH₃ interna), camada oculta com valor médio entre o número de atributos e o número de classe, ou seja, 8 neurônios na camada oculta, 1 neurônio para na camada de saída (vazão). A taxa de aprendizado (onde os pesos sinápticos são atualizados) escolhida foi de 0,3, o momento (momento aplicado aos pesos sinápticos durante a atualização) de 0,2, devido à baixa complexibilidade do modelo foi utilizado 500 épocas para treinar o modelo, ou seja, o número de vezes em que o conjunto de treinamento foi apresentado à rede. Em relação ao desempenho, foram obtidos valores de erro abaixo de 0,0000366. Os parâmetros do modelo para avaliação da sua precisão estão apresentados na Tabela 67.

Tabela 67. Parâmetros de avaliação da acurácia do modelo de redes neurais.

Parâmetros	Valores
Coeficiente de correlação	1,0000
Erro médio absoluto	0,1061
Raiz quadrada do erro quadrático médio	0,1401
Erro relativo absoluto	0,7822 %
Raiz quadrada do erro quadrático relativo	0,7941 %
Número total de instancias	832

O conjunto de treinamento foi apresentado à rede neural para que o algoritmo *backpropagation* retropropagasse os erros. A Figura 121 apresenta o erro obtido para cada *fold* (entre zero e 10), sendo que todos foram apresentados às rede neural 500 vezes, ou seja, utilizou-se 500 épocas para cada *fold*. Neste caso, o modelo com precisão na ordem de 0,0000132 (Figura 13), é possível afirmar que o treinamento convergiu e o modelo de predição da vazão do ar nos exaustores foi capaz de auxiliar na tomada à decisão do controlador.

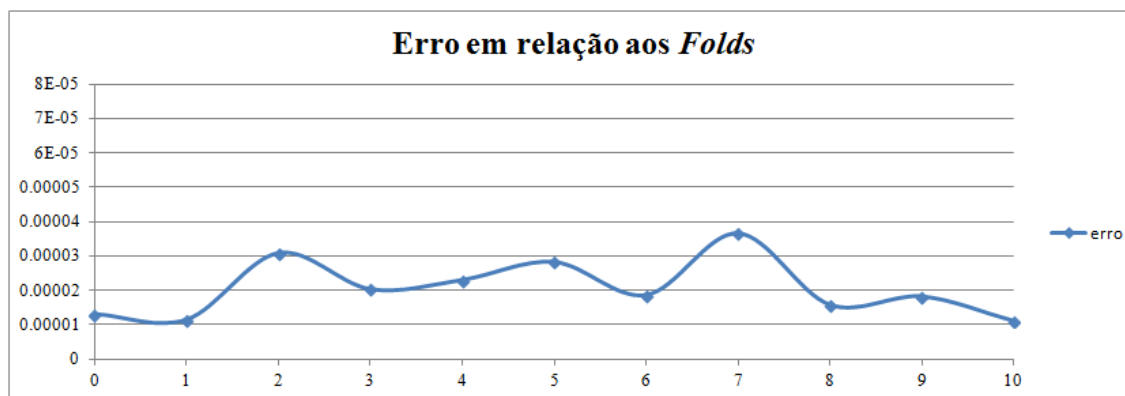


Figura 121. O erro obtido para cada *fold* com 500 épocas.

A Figura 122 apresenta o aprendizado das redes neurais, com o coeficiente de determinação igual à $R^2 = 0,9999$, reforçando que as variáveis de entrada podem ser utilizadas para predição da vazão dos exaustores.

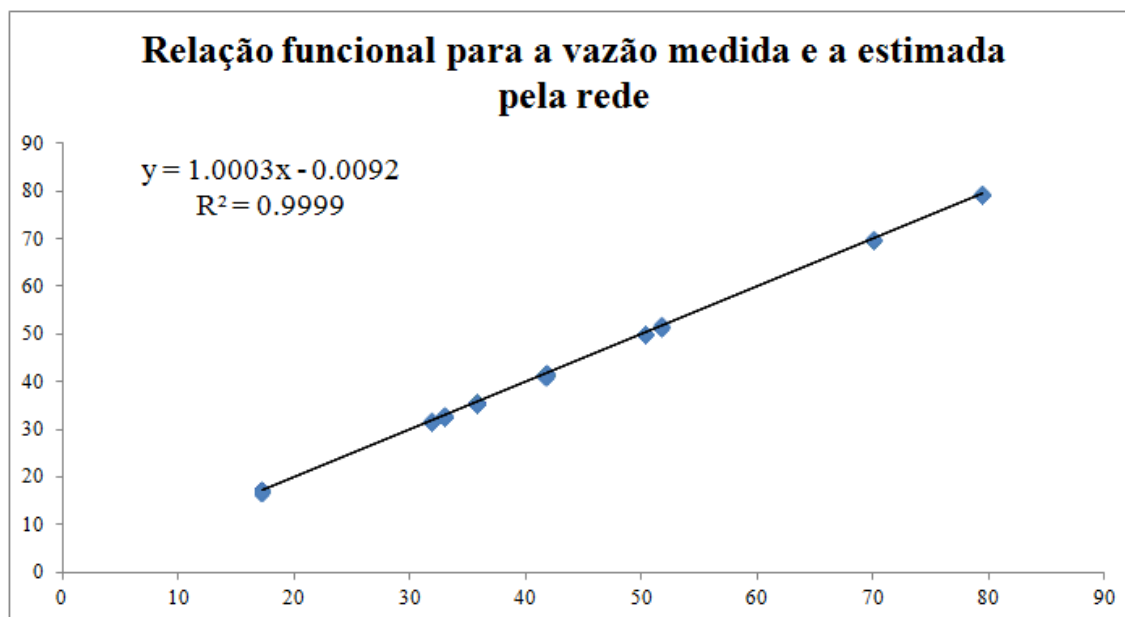


Figura 122. Relação funcional para a vazão medida e a estimada pela rede neural.

As Figuras 123, 124, 125 e 126 apresentam os resultados de predição da rede neural (linha verde seguida de triângulo) em relação à vazão dos exaustores no momento da coleta de dados (vermelho seguida de quadrado), e a diferença entre os valores da vazão medida e estimada em porcentagem.

Foi possível observar 6 que, na maioria dos casos, o modelo da rede neural optou por aumentar a quantidade de vazão dos exaustores (linha roxa seguida de cruzeiros) em 35,09%, 38,46%, 41,83% e 47,60% dos casos, respectivamente. Sendo que as recomendações obtidas pela rede neural foi em reduzir em 22,72 % a vazão dos exaustores em relação a vazão medida, e em aumentar em 74,12 % a vazão dos exaustores em relação a vazão medida, remetendo que as maiores indicações para aumentar a vazão está em função das altas temperaturas obtidas nestes galpões e também aos níveis de concentração de amônia acima do limite máximo considerado ideal à produção de frango de corte.

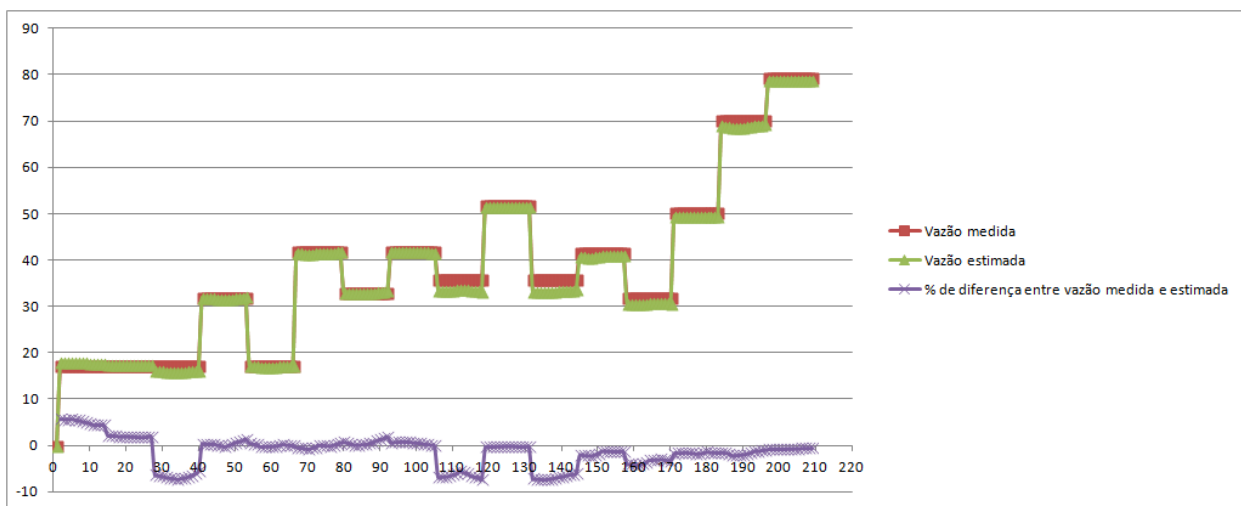


Figura 123. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000132).

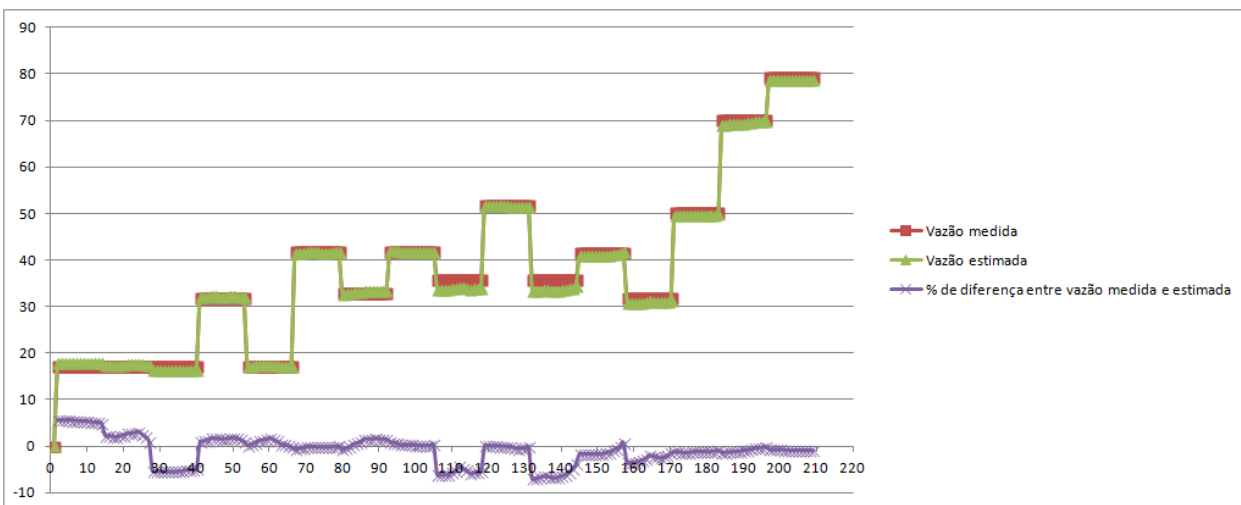


Figura 124. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000132).

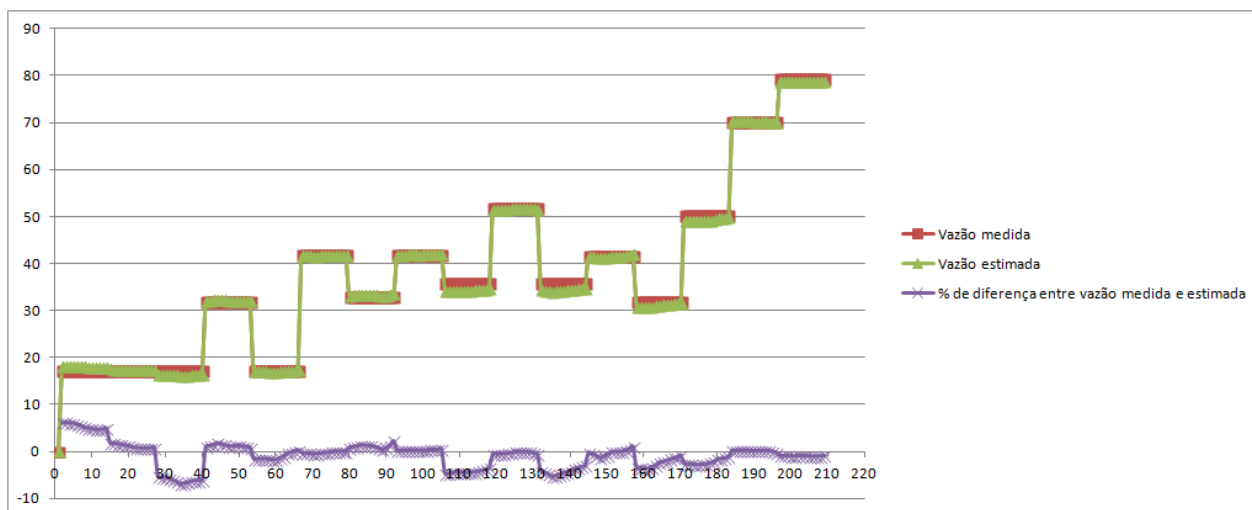


Figura 125. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000132).

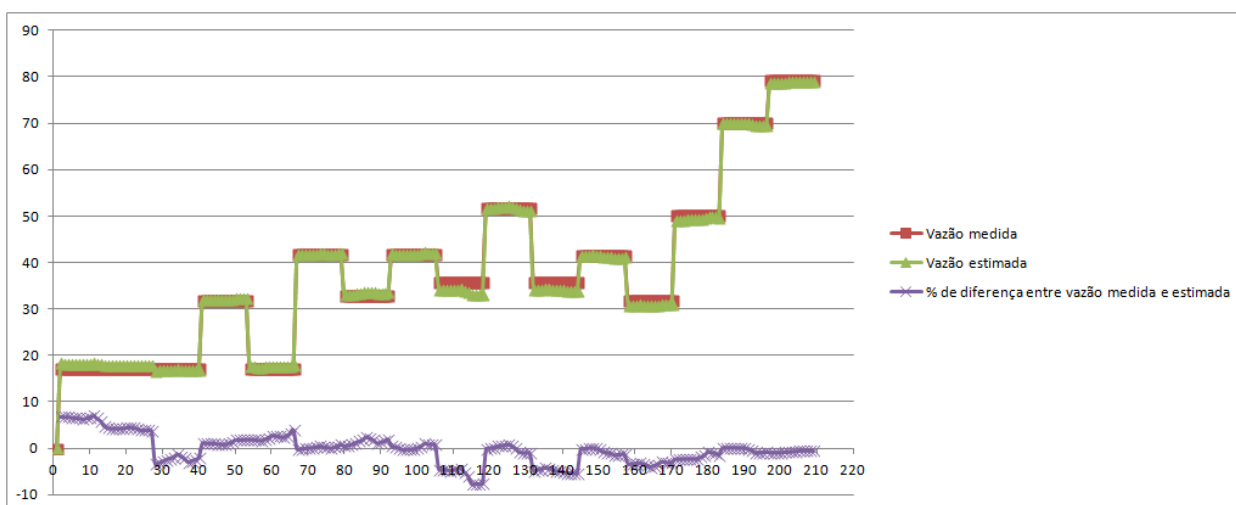


Figura 126. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0000132).

5.6.4 Redes neurais para o aviário *Solid Wall*

O modelo de redes neurais apresentou três camadas, sendo a camada de entrada com 15 neurônios (idade, estação, horário, temperatura externa, umidade relativa externa, temperatura interna, umidade relativa interna, velocidade do ar interna, concentração de CO₂ interna, concentração de NH₃ interna, erro da temperatura, erro da umidade relativa, erro da velocidade

do ar, erro da concentração de CO₂ interna e erro da concentração de NH₃ interna), camada oculta com valor médio entre o número de atributos e o número de classe, ou seja, 8 neurônios na camada oculta, 1 neurônio para na camada de saída (vazão).

A taxa de aprendizado (onde os pesos sinápticos são atualizados) escolhida foi de 0,3, o momento (momento aplicado aos pesos sinápticos durante a atualização) de 0,2, devido à baixa complexibilidade do modelo foi utilizado 500 épocas para treinar o modelo, ou seja, o número de vezes em que o conjunto de treinamento foi apresentado à rede. Em relação ao desempenho, foram obtidos valores de erro abaixo de 0,0009386. Os parâmetros do modelo para avaliação da sua precisão estão apresentados na Tabela 68.

Tabela 68. Parâmetros de avaliação da acurácia do modelo de redes neurais.

Parâmetros	Valores
Coefficiente de correlação	0,9989
Erro médio absoluto	0,6908
Raiz quadrada do erro quadrático médio	1,0286
Erro relativo absoluto	3,5006 %
Raiz quadrada do erro quadrático relativo	4,6544 %
Número total de instancias	832

O conjunto de treinamento foi apresentado à rede neural para que o algoritmo *backpropagation* retropropagasse os erros. A Figura 127 apresenta o erro obtido para cada *fold* (entre zero e 10), sendo que todos foram apresentados à rede neural 500 vezes, ou seja, utilizou-se 500 épocas para cada *fold*. Neste caso, o modelo com precisão na ordem de 0,0005138 (Figura 19), é possível afirmar que o treinamento convergiu e o modelo de predição da vazão do ar nos exaustores foi capaz de auxiliar na tomada à decisão do controlador.

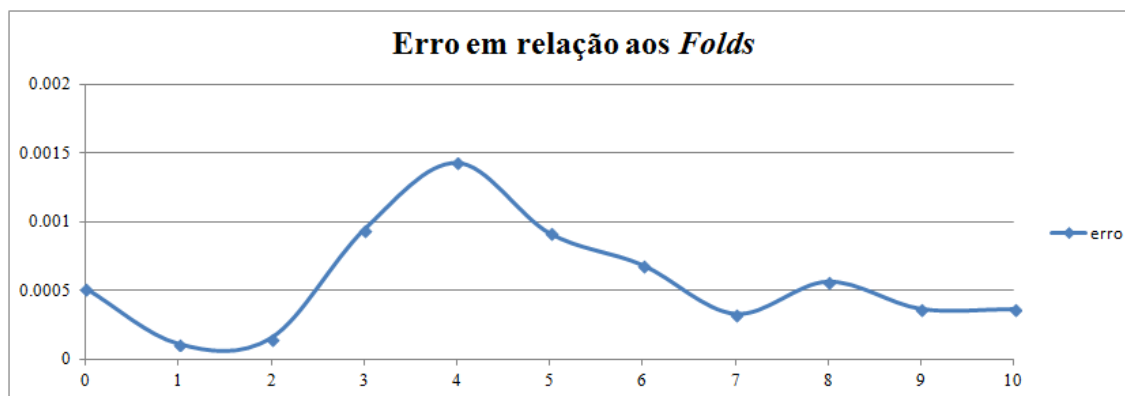


Figura 127. O erro obtido para cada fold com 500 épocas.

A Figura 128 apresenta o aprendizado das redes neurais, com o coeficiente de determinação igual à $R^2 = 0,9978$, reforçando que as variáveis de entrada podem ser utilizadas para predição da vazão dos exaustores.

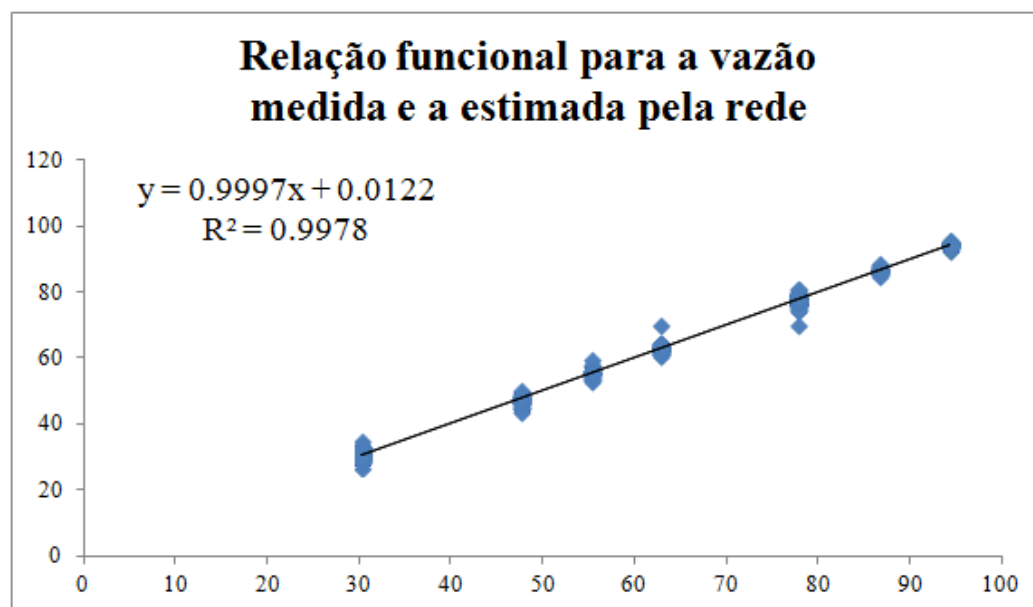


Figura 128. Relação funcional para a vazão medida e a estimada pela rede neural.

As Figuras 128, 129, 130 e 131 apresentam os resultados de predição da rede neural (linha verde seguida de triângulo) em relação à vazão dos exaustores no momento da coleta de dados (vermelho seguida de quadrado), e a diferença entre os valores da vazão medida e estimada em porcentagem.

É possível observar pelas Figuras 128, 129, 130 e 131 que, na maioria dos casos, o modelo da rede neural optou por aumentar a quantidade de vazão dos exaustores (linha roxa seguida de cruces) em 35,09%, 44,71%, 54,81% e 43,75% dos casos, respectivamente. Esta predição visou melhorar as condições internas onde as aves estão alocadas em relação às condições térmicas e aéreas, levando em consideração as condições ambientais externas também. Sendo que as recomendações obtidas pela rede neural foi em reduzir em 19,59 % a vazão dos exaustores em relação à vazão medida, e em aumentar em 37,12 % a vazão dos exaustores em relação a vazão medida, remetendo que as maiores indicações para aumentar a vazão está em função das altas temperaturas obtidas nestes galpões, já mencionadas no item da estatística.

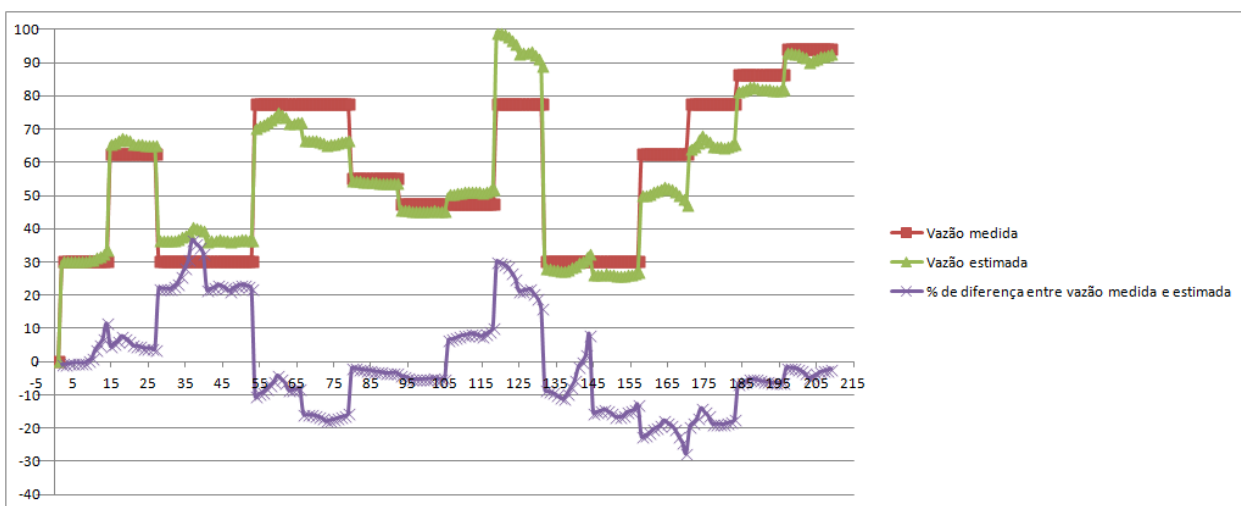


Figura 129. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0005138).

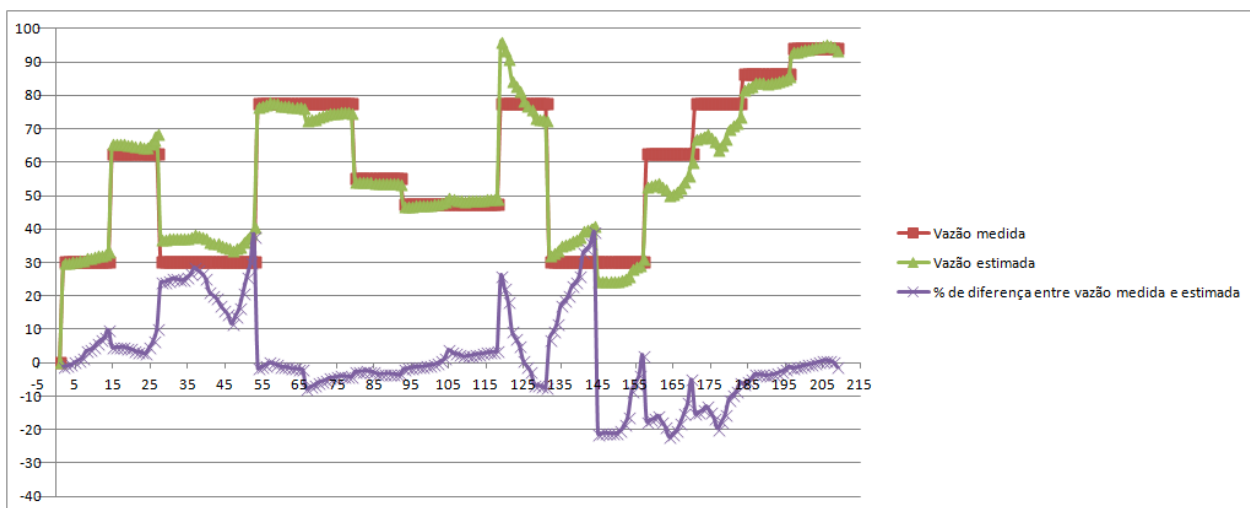


Figura 130. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0005138).

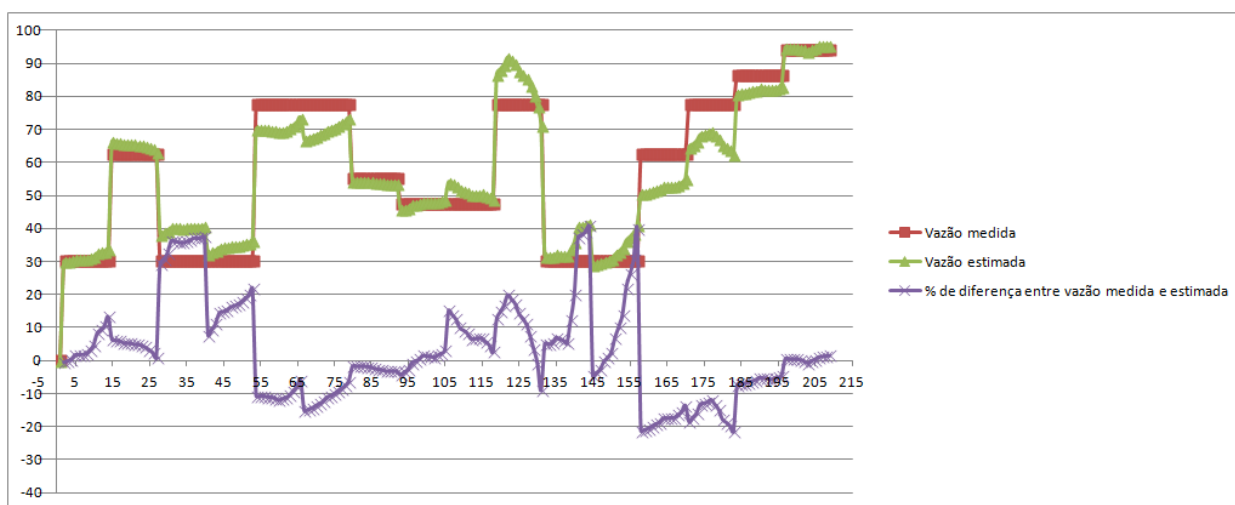


Figura 131. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0005138).

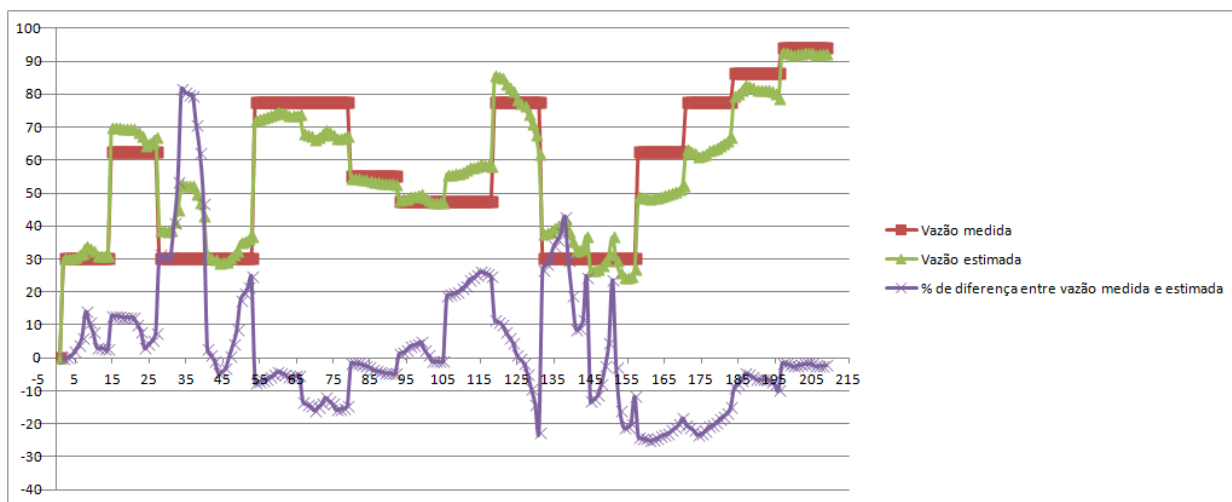


Figura 132. Variação entre a vazão medida e a estimada pelo modelo de rede neural utilizada no banco de dados (erro da predição neste banco de dados igual à 0,0005138).

5.6.5 Considerações finais dos resultados da modelagem em redes neurais

As redes neurais artificiais foram capazes de auxiliar na tomada de decisão em relação à vazão necessária para manutenção das variáveis climáticas e aéreas no interior do aviário em níveis adequados levando-se em consideração as condições externas. Desta forma, o modelo pode auxiliar o controlador na identificação de quantos exaustores deveriam ser acionados para manter as aves em conforto térmico. Neste sentido, os modelos baseados em redes neurais inferiram que o aviário BH deveria aumentar a vazão dos exaustores em 92,42% dos casos, o aviário DH deveria aumentar a vazão dos exaustores em 1,48% dos casos, o aviário DWH deveria diminuir a vazão dos exaustores em 22,72% dos casos e, por fim o aviário SW deveria diminuir a vazão dos exaustores em 19,59% dos casos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sequência das análises de dados realizadas neste trabalho foi escolhida de maneira lógica para criar uma metodologia de investigação com o intuito de compreender e, inferir no controle e no manejo do sistema de ventilação em instalações para frangos de corte melhorando as condições ambientais em que as aves estão inseridas e, conseqüentemente na produtividade do lote.

Neste sentido, os resultados da análise estatística e da análise geoestatística auxiliaram no entendimento do ambiente gerado pelo sistema de ventilação no interior das instalações, em relação ao controle das variáveis ambientais, sua distribuição em todo o aviário e os pontos críticos.

A partir dos resultados da geoestatística dos dados do Índice de Temperatura e Umidade foi possível identificar os três pontos mais representativos para posicionamento dos sensores de temperatura e umidade para controle mais eficiente do sistema de ventilação, uma vez que o controlador do sistema de ventilação atua baseado nas informações ambientais que os sensores transmitem aos mesmos.

Os controladores do sistema de ventilação, por meio das informações transmitidas pelos sensores que apresentam a atual condição no interior e exterior do aviário, podem inferir na vazão total do ar gerado pelos exaustores para manutenção do ambiente baseado em redes neurais artificiais.

Determinado a quantidade de exaustores que precisaria ser acionada, a modelagem em CFD será capaz de indicar o melhor arranjo dos exaustores (quais exaustores serão acionados) a fim de obter um ambiente mais homogêneo e com trocas de ar mais eficiente.

Em suma, cada ferramenta e modelagem utilizada neste trabalho podem ser utilizadas de forma independente em função do objetivo e grau de conhecimento do usuário. Porém, o emprego das modelagens realizadas de forma complementar possibilitou não só o entendimento das condições em que os frangos de corte estão inseridos, mas também a avaliação e proposta de melhoria no manejo dos diferentes sistemas de ventilação utilizados na avicultura de corte atualmente.

7. CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas no presente trabalho foi possível observar que o período de verão é o mais crítico para criação de aves na fase final de crescimento, no entanto é neste período que ocorre menor variação das variáveis climáticas no interior da instalação, pela intensificação do sistema de ventilação e resfriamento, o que consequentemente reduz os níveis de gases no interior das instalações.

A análise geoestatística se apresentou como ferramenta eficiente para avaliação da distribuição das condições climáticas e concentração de gases nos aviários estudados, o qual demonstrou que a presença ou não do painel evaporativo influencia na condição padrão de funcionamento do sistema de ventilação. O sistema de ventilação com sistema de resfriamento por painel evaporativo auxilia no resfriamento do ar no centro do aviário, enquanto nas paredes laterais ocorrem temperaturas acima do recomendado pela literatura em instalações com largura menores que 20 m. E aviários com largura maiores que 20 m apresentam regiões com baixa renovação de ar nas laterais e em todo o comprimento.

A determinação do posicionamento dos sensores deve auxiliar no monitoramento mais eficiente das condições internas do aviário baseado em pontos representativos. A partir desta análise, foi possível observar que a distribuição dos sensores em três pontos equidistantes é a mais adequada, bem como localizar um dos sensores próximo das paredes laterais. Outro resultado relevante é o posicionamento dos sensores nas entradas de ar, o qual consegue identificar a condição do ar de entrada e, a partir daí, inferir no sistema de ventilação e resfriamento.

A técnica do CFD é um método eficiente e viável que permitiu a visualização do encaminhamento do ar de acordo com as diferentes condições de funcionamento dos exaustores em 2D e 3D, bem como determinar o melhor arranjo para o acionamento de exaustores a fim de evitar a formação de regiões com baixa renovação do ar, bem como zonas de turbulência localizadas no encontro das entradas de ar no fundo do aviário, o que é corrigido no encaminhamento do ar do painel evaporativo até os exaustores.

As redes neurais artificiais são capazes de auxiliar a tomada de decisão quanto da vazão de ar dos exaustores necessária para renovação e resfriamento do ar nas instalações de frango de corte, em função das condições climáticas internas e externas, em comparação com as condições ideais para a criação de aves alojadas de acordo com a idade das mesmas. Esta técnica limita-se

ao universo de dados que é fornecido ao programa para construção do modelo, neste sentido quanto maior o número de dados, melhor é a inferência do modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, P.G. et al. Evaluation of litter material and ventilation systems on poultry production: II. thermal comfort. **R. Bras. Zootec.**, v.40, n.6, p.1356-1363, 2011.
- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N. **Ventilação na avicultura de corte**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e aves, 2000. 50 p.
- ABREU, V.M.N.; ABREU, P.G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **R. Bras. Zootec.**, v.40, p.1-14, 2011 (supl. especial).
- ABU-DIEYEH, Z.H.M. Effect of Chronic Heat Stress and Long-Term Feed Restriction on Broiler Performance. **International Journal of Poultry Science**, v.5, n.2, p.185-190, 2006.
- AERTS, J.M.; WATHES, C.M.; BERCKMANS, D. Applications of process control techniques in poultry production. **In: Integrated Management Systems for Livestock**, Wathes, C. (editor), Selwyn College, Cambridge, UK, BSAS, Edinburgh, p.147-154, 2001.
- ALENCAR, M.C.B. et al. A saúde ocupacional na produção de frango de corte no Brasil: será que sabemos o bastante? In: Seminário poluentes aéreos e ruídos em instalações para produção de animais, 2002, Campinas. **Anais...**, Campinas, SP, 2002, p.57-62.
- AMARAL, A.G. et al. Effect of the production environment on sexed broilers reared in a commercial house. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.63, n.3, p.649-658, 2011.
- AMCA. **Laboratory Methods of Testing Fans for Aerodynamic Performance Rating**. ANSI/AMCA Standard 210-99. Chicago, Ill.: Air Movement and Control Association International, Inc, 1999.
- ANDERSON, M.P.; WOESSNER, W.W. **Applied groundwater modeling simulation of flow and advective transport**. 2.ed. New York: Academic Press, 1992.
- ASHRAE. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta, Ga.: ASHRAE, 2001.
- AYAD, S.S. Computational study of natural ventilation. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**. v.82, n.1-3, p.49-68, 1999.
- BAEK, B.H.; ANEJA, V.P.; TONG, Q. Chemical coupling between ammonia, acid gases and fine particles. **Environmental Pollution**, v.129, n.1, p. 89-98, 2004.

- BAEK, S.O.; KIM, Y.S.; PERRY, R. Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas-indoor/outdoor relationships. **Atmospheric Environment**, v.31, p.529-544, 1997.
- BAÊTA, F.C. et al. Desempenho da ventilação forçada no interior de galpões de corte, em função do posicionamento dos ventiladores e orientação do fluxo de ar, no verão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001. **Anais...** Foz do Iguaçu: CONBEA, 2001.
- BAETA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais - Conforto animal**. Viçosa; UFV. 1997, 246 p.
- BANHAZI, T.M. et al. Identification of the risk factors for high airborne particle concentrations in broiler buildings using statistical modeling. **Biosystems Engineering**, v.101, p.100-110, 2008.
- BANHAZI, T.M. Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects. **Int J Agric & Biol Eng**, Disponível em <<http://www.ijabe.org>>, v.5, n.3, p.1-9. 2012.
- BAPTISTA, F.J.; BAILEY, B.J.; RANDALL, J.M.; MENESES, J.F. Greenhouse ventilation rate: theory and measurement with tracer gas techniques. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.72, p.363-374, 1999.
- BARBOSA FILHO, J.A.D. et al. Transporte de frangos: caracterização do microclima na carga durante o inverno. **R. Bras. Zootec.**, v.38, n.12, 2009.
- BARNWELL, R.; ROSSI, A. Maximização da performance em períodos quentes. **Avicultura Industrial**, v.11, p.72-80, 2003.
- BARTZANAS, T. et al. Analysis of airflow through experimental rural buildings: Sensitivity to turbulence models. **Biosystems Engineering**, v.17, n.2, p.229-239, 2007.
- BATTYE, R. et al. Development and Selection of ammonia emission factors. **Final report of US EPA** (Environmental Protection Agency), 111p, 1994. Disponível em: <www.sraproject.org/wp-content/uploads/2007/12/developmentandselectionofammoniaemissionfactors.pdf>. Acesso em: 20 mai. de 2008.
- BJERG, B. et al. Modeling of air inlets in CFD prediction of airflow in ventilated animal houses. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.34, p.223-235, 2002.

- BLANES-VIDAL, V. et al. Application of computational fluid dynamics to the prediction of airflow in a mechanically ventilated commercial poultry building. **Biosystems Engineering**, v.100, n.1, p.105-116, 2008.
- BOND, T.E., KELLY, C.F. The globe thermometer in agriculture research. **Agric. Eng.**, v.36, n.2, p.251-260, 1955.
- BOURNET, P.E.; BOULARD, T. Effect of ventilator configuration on the distributed climate of greenhouses: A review of experimental and CFD studies. **Computers and Electronics in Agriculture**, n.74, p.195–217, 2010.
- BUENO, L.G.F. **Avaliação da eficiência energética e do conforto térmico em instalações de frango de corte**. Campinas: UNICAMP, 2004. 100p. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2004.
- BUFFINGTON, C.S.; COLLIER, R.I.; CANTON, G.H., Shade management system heat stress for dairy cows in hot, humid climates. **Transactions of the ASAE**, v.26, n.6, p.1798- 1802, 1981.
- BUSTAMANTE, E. et al. Exploring ventilation efficiency in poultry buildings: The validation of computational fluid dynamics (CFD) in a cross-mechanically ventilated broiler farm. **Energies**, v.6, p.2605-2623, 2013.
- CALVET, S. The influence of broiler activity, growth rate, and litter on carbon dioxide balances for the determination of ventilation flow rates in broiler production. **Poultry Science**, v.90, p.2449–2458, 2010.
- CAMBARDELLA, C.A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- CARVALHO, T.M.R. et al. Litter and air quality in different broiler housing conditions. **Pesq. agropec. bras.**, v.46, n.4, 2011.
- CARVALHO, T.M.R. et al. Use of geostatistics on broiler production for evaluation of different minimum ventilation systems during brooding phase. **Revista Brasileira Zootecnia** , v.41, n.1, p.194-202, 2012.
- CARVALHO, T.M.R. **Influência da ventilação mínima no ambiente térmico e aéreo na fase de aquecimento para frangos de corte**. 2010. 154f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

- CARVALHO, V.F. et al. Zoneamento do potencial de uso de sistemas de resfriamento evaporativo no sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.358–366, 2009.
- CAVALCHINI, L.G. **El Pavo: cría, incubación, patologia**. 1 ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1985. 308 p.
- CHEVILLON, P. O bem-estar dos suínos durante o pré-abate e o atordoamento. In: Conferência Internacional Virtual sobre Qualidade de Carne Suína, 1., 2000, Concórdia. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. p.152-168. Disponível em: <www.cnpsa.embrapa.br/index.php?ids=Sn6170p1l&idl=&pg=0&tipo=8> Acesso em: 12 mar de 2008.
- CHOWDHURY, S. et al. Spatio-temporal patterns of Campylobacter colonization in Danish broilers. **Epidemiology and Infection**, v.141, n.5, p.997-1008, 2013.
- COBB - VANTRESS, INC. Cobb - Vantress Brasil, LTDA. **Manual de Manejo de Frangos de Corte**. 2008, 66p. Disponível em: <www.granjaplanalto.com.br/Manual%20Frango%20Corte_20_03_09.pdf>. Acesso em: 25 abr. de 2009.
- COHEN, I.; HURWITZ, S. The response of blood ionic constituents and acid-base balance to dietary sodium, potassium and chloride in laying fowls. **Poultry Science**, v.53, p.378-383, 1974.
- COOPER, M.A.; WASHBURN, K.W. The relationships of body temperature to weight gain, feed consumption, and feed utilization in broilers under heat stress. **Poultry Science**, Stanford, v.77, n.2, p.237-242, 1998.
- CORKERY, G. et al. Monitoring Environmental Parameters in Poultry Production Facilities. **Computer Aided Process Engineering**, CAPE Forum 2013, Graz University of Technology, Austria, 2013.
- COST. **Cost Action 14: recommendations on the use of CFD in predicting pedestrian wind environment**. Brussels: COST, 2004.
- CÓSTOLA, D.; ALUCCI, M.P. Aplicação de CFD para o cálculo de coeficientes de pressão externos nas aberturas de um edifício. **Ambiente Construído**, v.11, n.1, p.145-158, 2011.
- CURTIS, S.E. **Environmental management in animal agriculture**. The Iowa State University: Ames, 1983. 410p.

- DAMASCENO, F.A. et al. Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. **Ciênc. Agrotec.**, v.34, n.4, p.1031-1038, 2010.
- DAMASCENO, F.A. et al. Concepções arquitetônicas das instalações utilizadas para a produção avícola visando o conforto térmico em climas tropicais e subtropicais. **PUBVET**, v.4, n.42, ed.147, art.991, 2010.
- DAWKINS, M.S.; DONELLY, S.; JONES, T.A. Chicken welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density. **Nature**, v.427, p.342-344, 2004.
- DOZIER, W.A.; PURSWELL, J.L.; BRANTON, S.L. Growth responses of male broilers subjected to high air velocity for either twelve or twenty-four hours from thirty-seven to fifty-one days of age. **J. Appl. Poult. Res.**, v.15, p.362-366, 2006.
- ELLIOT, H.A.; COLLINS, N.E. Factors affecting ammonia release in broiler houses. **Transactions of ASAE**, v.25, p.413-424, 1982.
- ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. 2. ed. West Port: AVI Publishing, 1974. 325p.
- FARIA, F. F. et al. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. **Ciência Rural**, v.38, n.9, p.2498-2505, 2008.
- FERREIRA, L. **Aplicação de sistemas fuzzy e neuro-fuzzy para predição da temperatura retal de frangos de corte**. 2009. 56p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- FRANCA, M. L. et al. Diagnóstico bioclimático para aves de corte no município de campina grande - PB. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.22, p.53-56, 2007.
- FRASER, D. Animal ethics and animal welfare science: Bridging the two cultures. **Applied Animal Behavior Science**, v.65, p.71-89, 1999.
- FROST, A.R. et al. Review of livestock monitoring and the need for integrated systems. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v.17, p.139-159, 1997.
- FROST, J.A. Current epidemiological issues in human campylobacteriosis. **Symp Ser Soc Appl Microbiol**, v.30, p.85–95, 2001.
- GAMBIT, 2001. **Gambit user's Guide, version 6.0**; Fluent Inc.: Lebanon, NH, USA, 2001.

- GATES, R. S., K. D. CASEY, H. XIN, AND E. F. WHEELER. Fan assessment numeration system (FANS) design and calibration specifications. **Trans. ASAE**, v.47, n.5, p.1709-1715, 2004.
- GERRITZEN, A. M. et al. Note on behaviour of poultry exposed to increasing carbon dioxide concentrations. **Applied Animal Behaviour Science**, v.108, n.1, p. 179-185, 2006.
- GLOBALG.A.P. **Integrated Farm Assurance** / Poultry. Controls Point and Compliance Criteria. PY 5.4: 2011-2012, 2012. Disponível em <www.globalgap.org>. Acesso em: 24 fev. de 2012.
- GREGORY, N. G. Relationships between pathology and pain severities – a review. **Animal Welfare** , in press, 2010.
- GRIGGS, J.P.; JACOB J.P. Alternatives to antibiotics for organic poultry production. **J. Appl. Poult. Res.**, 14: 750-756, 2005.
- GUARINO, M. et al. Field test of algorithm for automatic cough detection in pig houses. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.62, n.1, p.22-28, 2008.
- HAI, L.; RONG, D.; ZHANG, Z.Y. The effect of thermal environment on the digestion of broilers. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.83, p.57-64, 2000.
- HASLAM, S.; KESTIN, S. Comparing welfare in different systems. In: C.A.Weeks and A. Butterworth (eds.) **Measuring and auditing broiler welfare**. CABI Publishing CAB International, Wallingford, UK, 2004, pp 183-195.
- HURWITZ, S. et al. The amino acid requirements of chicks: Experimental validation of model-calculated requirements. **Poultry Science**, v.59, p.2470-2479, 1980.
- HURWITZ, S. et al. The energy requirements and performance of growing chickens and turkeys as affected by environmental temperature. **Poultry Science**, v.59, p.2290-2299, 1980.
- HYNES, B. Farm input costs set to increase. **Farmers Journal**, 2011.
- HYNST, J. et al. High fluxes but different patterns of nitrous oxide and carbon dioxide emissions from soil in a cattle overwintering area. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.120, p.269–279, 2007.
- JÁCOME, I.M.T.D. et al. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.5, p.537-531, 2007.

- JOAQUIM JUNIOR, C.F. et al. **Agitação e Mistura na Indústria**. Rio de Janeiro, LTC, 2007.
- JONES, E.K.M.; WATHES, C.M.; WEBSTER, A.J.F. Avoidance of atmospheric ammonia by domestic fowl and the effect of early experience. **Applied Animal Behaviour Science**, Londres, v.90, n.3, p.293-308, 2005.
- KIRCHNER, K.; TÖLLE, K.H.; KRIETER, J. Decision tree technique to pig farming datasets. **Livestock Production Science**, n.90, p.191-200, 2004.
- KRISTENSEN, H.H. et al. The preferences of laying hens for different concentrations of atmospheric ammonia. **Appl. Anim. Behav. Sci.**, v.68, p.307–318, 2000.
- KUNDU, P.K.; COHEN, I.M. **Fluid Mechanics**. 2nd Edition. New York: Academic Press, 2002.
- LEE, I.; SASE, S.; SUNG, S. Evaluation of CFD Accuracy for the Ventilation Study of a Naturally Ventilated Broiler House. **Japan Agricultural Research Quarterly**, v.41, n.1, p.53-64, 2007.
- LEE, I.B.; SHORT, T. Two-dimensional numerical simulation of natural ventilation in a multi-span greenhouse. **Transactions of the ASAE**, v.43, n.3, p.745-753, 2009.
- LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Commercial poultry nutrition**. Guelph, Ontário: University Books, 1991. 335p.
- LIMA, A.M.C.; NÄÄS, I.A.; BARACHO, M.S.; MIRAGLIOTTA, M.Y.; **Ambiência e bem-estar**. In: MENDES, A.A.; NÄÄS, I.A.; MACARI, M. **Produção de frangos de corte**. Campinas: Facta, 2004, p.37-44.
- LIMA, K.A.O Avaliação de sistemas de ventilação mecanizada por pressão positiva e negativa utilizados na avicultura de corte. 2012. 89f. **Tese (Doutorado)** – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.
- LIMA, M.G.F.; RODRIGUES, L.H.A. Árvore de decisão aplicada em dados de incubação de matrizes de postura hy-line W36. **Ciênc. Agrotec.**, v.34, n.6, p.1550-1556, 2010.
- LITTLE, T.M.; HILLS, F.J. **Agricultural experimentation: design and analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 368p.
- LU, Q.; WEN, J.; ZHANG, H. Effect of chronic heat exposure on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken. **Poult. Sci.**, v.86, p.1059-1064, 2007.

- MACARI, M.; GONZALES, E. Fisiopatogenia da síndrome da morte súbita em frangos de corte. In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 1990, Campinas. **Anais...**, Campinas: APINCO, 1990, p.65-73.
- MARDER, J; ARAD, Z. Panting and acid-base regulation in heat stressed birds. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v.94, p.395-400, 1989.
- MASHALY, M.M. et al. Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens. **Poultry Science**, v.83, p.889-894, 2004.
- Maskrey, M. **Metabolic and acid base implications of thermal panting**. J.R.S. Hales (Ed.), Thermal Physiology, Raven Press, New York, p.347-352, 1984.
- MATTOS, J. M. **Avaliação das instalações em aviários de postura conforme aspectos de conforto térmico na região de Bastos**. 2007, 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2007.
- MAY, J.D.; LOTT, B.D.; SIMMONS, J.D. The effect of air velocity on broiler performance and feed and water consumption. **Poultry Science**, v.79, p.1396-1400, 2000.
- McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? **Soil Science**, v.135, n.3, p.177-183, 1983.
- McCulloch, W.S.; Pitts, W. A logical calculus of the idea immanent in nervous activity. **Bulletin of Mathematical Biophysics**, v.5, p.115-133, 1943.
- MCLEAN, J., SAVORY, J., SPARKS, N. Welfare of male and female broiler chickens in relation to stocking density. In: Proc. 6th Europ. Symp. on Poultry Welfare, **Anais...**, Zollikofen, Switzerland, 2001, p.234-242.
- MEDEIROS, C.M. et al. Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, v.9, n.4, 2005.
- MELUZZI, A.; SIRRI, F. Welfare of broiler chickens Ital. **J.Anim. Sci.**, v.8 (Suppl. 1), p.161-173, 2009.
- MENDES, A. S. Efeito do manejo da ventilação natural no ambiente de salas de maternidade para suínos. 2005. 89f. **Dissertação (Mestrado)** - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- MIDWEST PLAN SERVICE. **Mechanical ventilating systems for livestock housing**. Ames, Iowa: Iowa State University, 1990.72p.

- MILES, D.M.; BRANTON, S.L.; LOTT, B.D. Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers. **Poultry Science**, v.83, n.10, p.1650-1654, 2004.
- MILES, D.M.; ROWE, D. E.; OWENS, P. R. Winter broiler litter gases and nitrogen compounds: Temporal and spatial trends. **Atmospheric environment**, v.42, n.14, p.3351-3363, 2008.
- MILES, J.W.; CARDONA, C.; SOTELO, G. Recurrent selection in a synthetic brachiaria grass population improves resistance to three spittlebug species. **Crop Science**, v.46, p.1088-1093, 2006.
- MIRAGLIOTTA, M.Y. et al. Spatial analysis of stress conditions inside broiler house under tunnel ventilation. **Scientia Agrícola**, v.63, p.426-432, 2006.
- MOLENTO, C.F.M. Bem-estar e produção animal: aspectos econômicos – revisão. **Archives of Veterinary Science**, v.9, n1, p.1-11, 2005.
- MOSTAFA, E. et al. Computational fluid dynamics simulation of air temperature distribution inside broiler building fitted with duct ventilation system. **Biosystems Engineering**, v.112, p.293-303, 2012.
- MOURA, D.J.; NÄÄS, I.A.; ALVES, E.C. de S.; CARVALHO, T.M.R de; VALE, M.M. do; LIMA, K.A.O de. Análise de ruído para a avaliação do conforto térmico de pintinhos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.65, n.4, p.438-443, 2008.
- NÄÄS, I.A. et al. Estimativa de estro em vacas leiteiras utilizando métodos quantitativos preditivos. **Ciência Rural**, v.38, n.8, p.2383-2387, 2008.
- NARDONE, A. et al. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**, Amsterdam, v.130, n.1-3, p.57-69, 2010.
- NASCIMENTO, G. R. **Termografia aplicada à avaliação do ambiente térmico de alojamento e do conforto térmico de frangos de corte**. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2011.
- NASCIMENTO, G.R. et al. Thermal comfort fuzzy index for broiler chickens. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.2, 2011.
- NAZARENO, A.C. et al. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p.802-808, 2009.

- NICHOLSON, F. A.; CHAMBERS, B. J.; WALKER, A. W. Ammonia Emissions from Broiler Litter and Laying Hen Manure Management Systems. **Biosystems Engineering**, v.89, n.2, p.175–185, 2004.
- NIENABER, J.A.; HAHN, G.L. Engineering and management practices to ameliorate livestock heat stress. In: International Symposium of the Cigr. New trends in farm buildings, 2004, Évora. **Anais...**, Évora: CIGR, 2004.
- NOLDUS, L.P.J.J.; JANSEN, R.G. Measuring broiler chicken behaviour and welfare: prospect for automation. In: C. A. Weeks and A. Butterworth (eds.). **Measuring and auditing broiler welfare**. CABI Publishing CAB International, Wallingford, UK, 2004, p. 267-290.
- NORTH, M.O.; BELL, D.D. **Commercial chicken production manual**. 4.ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 456p.
- NORTON, T. et al. Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modelling and design of ventilation systems in the agricultural industry: A review. **Bioresource Technology**, v.98, n.12, p.2386-2414, 2007.
- NORTON, T.; GRANT, J.; FALLON, R.; SUN, D.W. Assessing the ventilation effectiveness of naturally ventilated livestock buildings under wind dominated conditions using computational fluid dynamics. **Biosystems Engineering**, v.103, n.1, p.78-99, 2009.
- OLIVEIRA, L.M. et al. Zoneamento bioclimático da região Sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.823-831, 2006.
- OWADA, A.N. et al. Estimating broiler welfare as function of ammonia concentration and light level inside housing. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, 2007.
- PANDORFI, H. et al. The use of fuzzy logic for the productive environment characterization for pregnant sows. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, 2007.
- PANDORFI, H. et al. Uso de redes neurais artificiais para predição de índices zootécnicos nas fases de gestação e maternidade na suinocultura. **R. Bras. Zootec.**, v.40, n.3, 2011.
- PAWAR, S. R. et al. Analysis of poultry house ventilation using Computational Fluid Dynamics. **Transactions of the ASABE**, v.50, n.4, p.1373-1382, 2007.
- PEREIRA, P.A. et al. Technical evaluation of artificial lighting systems for broiler houses. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.6, 2012.
- PHILLIPS, C. **The Welfare of Animal: The Silent Majority**. 1.ed. Neatherland: Springer, 2009, 220p.

- RAJ, A.B.M.; GREGORY, N.G. Welfare implications of the gas stunning of pigs 1. Determination of aversion to the initial inhalation of carbon dioxide or argon. **Anim. Welfare**, v.4, p.273–280, 1995.
- REDWINE, J.S. et al. Concentration and emissions of ammonia and particulate matter in tunnel-ventilated broiler houses under summer conditions in Texas. **ASAE**, v.45, n.4, p.1101–1109, 2002.
- ROBERTSON, G.P. **GS+: geostatistics for the environmental sciences (version 5.1 for windows)**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.
- ROUSH, W.B. et al. Probabilistic neural network prediction of ascites in broiler based on minimally invasive physiological factors. **Poultry Science**, v.76, p.1513-1516, 1996.
- SALGADO, D.D. et al. Modelos estatísticos indicadores de comportamentos associados a bem-estar tér- mico para matrizes pesadas. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.619-629, 2007.
- SALGADO, D.D. **Modelo estatístico para predição de bem-estar de reprodutoras de frango de corte baseado em dados de ambiente e análise do comportamento**. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- SALGADO, D.D; NÄÄS, I.A. Avaliação de risco à produção de frango de corte do estado de São Paulo em função da temperatura ambiente. **Revista engenharia Agrícola**. v.30, n.3, p.367-376, 2010.
- SALLE, F.O. Utilização de inteligência artificial (redes neurais artificiais) no gerenciamento do incubatório de uma empresa avícola do sul do Brasil. . 2005. 82f. **Dissertação (Mestrado)** – Faculdade de Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- SANTOS, M.B.G, et al. **Diagnóstico de higiene, saúde e segurança do trabalho em galpões para criação de frangos de corte**. In: Occupational Safety and Hygiene. Ed. Minho: Portuguese Society of Occupational Safety and Hygiene, v.1, p.590-594, 2011.
- SARAZ, J.A.O. **Measurement and CFD Modelling of ammonia concentration, flux and thermal environment variables in open side broiler housing**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa Minas Gerais, 2010, p.1-132.
- SARMENTO, L. G. V. et al. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. **Agropecuária Técnica**, v.26, n.2, p.117-112, 2005.
- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **Statistical analysis system for Windows: computer program manual**. Cary, 1995. 705p.

- SCAHAW. **The welfare of chickens kept for meat production (broilers)**. Report of the Scientific Committee in Animal Health and Animal Welfare. European Commission, Health and Consumer Protection Directorate General, Brussels, Belgium, 2000. Disponível em <http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scah/out39_en.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2013.
- SCHEFFERLE, H.E. The decomposition of uric acid in built up poultry manure. **Journal of Applied Bacteriology**, v.28, p.412-420, 1965.
- SEO, I.H. et al. Improvement of the ventilation system of a naturally ventilated broiler house in the cold season using computational simulation. **Biosystems Engineering**. v.104, p.106-117. 2009.
- 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, 2005.
- SHANAWANY, M.M. Broiler performance under high stocking density. **Brit. Poultry Sci.**, v.29, p.43-52, 1988.
- SILVA, E.G. et al. Variabilidade espacial das características ambientais e peso de frangos de corte em galpão de ventilação negativa. **Rev. bras. saúde prod. anim.**, v.14, n.1, 2013.
- SILVA, I.J.O.; GHELFI FILHO, K.; CONSIGLERO, F.R. Materiais de cobertura para instalações animais. **Engenharia Rural**, v.1, n.1, p.51-60, 1990.
- SILVA, M. P. et al. Evaluation of the evaporative painel evaporativo usage potential for the Southeast region of Brazil with a simplified model for the estimation of the energy balance in sheds for broiler chickens. In: International livestock environment symposium, 7., 2005, Beijing. **Anais...**, Beijing: ASABE, 2005, p.143-150.
- SØRENSEN, J.T.; SANDOE, P. **Assessment of animal welfare at farm and group level**. Taylor and Francis, Dublin, Ireland, 2001.
- SOUZA, Z.M. et al. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.829-836, 2006.
- SURFER, GOLDEN SOFTWARE INC. **Surfer for windows: realese 7.0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide**. New York: Golden software, 1999. 619p.
- TANKSON, J.D. et al. Stress and nutritional quality of broilers. **Poultry Science**, v.80, n.9, p.1.384-1.389, 2001.

- TAO, X.; XIN, H. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. **Transactions of the ASAE**, v.46, n.2, p.491-497, 2003.
- TASISTRO, A.S.; KISSEL, D.E.; BUSH, P.B. Spatial variability of broiler litter composition in a chicken house. **Journal of Applied Poultry Research**, v.13, p.29-43, 2004.
- TEMIM, S. et al. Chronic heat exposure alters protein turnover of three different skeletal muscle in finishing broiler chickens fed 20 or 205% protein diets. **The Journal of Nutrition**, v.130, p.813-819, 2000.
- THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, n.2, p.57-60, 1959.
- TINÔCO, I. F. F. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 3, n. 1, 2001. Disponível em: <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-635X2001000100001&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 03 fev. de 2007.
- TINÔCO, I.F.F.A granja de frangos de corte. In: Mendes A A, Nããs IA & Macari M (Eds.) **Produção de frangos de corte**. Campinas. FACTA, 2004, p. 55-84.
- TOLON, Y.A.et al. Thermal, aerial, and acustic environment for boar housing. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.1, 2010.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, n.1, p.45-93, 1985.
- UBABEF – União Brasileira de Avicultura. **Relatório Anual 2012**. Disponível: <<http://www.ubabef.com.br/estatisticas/frango>>. Acesso em: 20/10/2013.
- VALE, M.M. et al. Data mining to estimate broiler mortality when exposed to heat wave. **Scientia Agrícola**, v.65, p.335-339, 2008.
- VAN WAGENBERG, A.; BJERG, B.; BOT, G.P.A. Measurements and Simulation of Climatic Conditions in the Animal Occupied Zone in a Door Ventilated Room for Piglets. **Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development**, v.6, p.1-19, 2004.
- VANNI, S.M. **Modelos de regressão: estatística aplicada**. São Paulo: Legmar Informática & Editora, 1998. 177p.
- VERBEKE, W. Stakeholder, citizen and consumer interests in farm animal welfare. **Animal Welfare**, v.18, p.325-333, 2009.

- VIEIRA, F.M.C. Avaliação das perdas e dos fatores bioclimáticos atuantes na condição de espera Pré-abate de frangos de corte. 2008. 176f. **Tese (Doutorado)** - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- VIEIRA, F.M.C. et al. Productive losses on broiler preslaughter operations: effects of the distance from farms to abattoirs and of lairage time in a climatized holding area. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, p.2471-2476, 2010.
- VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, n.1, p.1-75, 1983.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-53, 2000.
- VITORASSO, G.; PEREIRA, D. F. Análise comparativa do ambiente de aviários de postura com diferentes sistemas de acondicionamento. **Revista Brasileira Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, 2009.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, p.319-344, 1980.
- WATHES, C.M. et al. Is precision livestock farming an engineer’s daydream or nightmare, an animal’s friend or foe, and a farmer’s panacea or pitfall? **Computers and electronics in agriculture**, v.2153, p.9, 2008.
- WATHES, C.M.; KRISTENSEN, H.H.; AERTS, J.M.; BERCKMANS, D. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? **Computers and Electronics in Agriculture**, v.64, n.1, p.2-10, 2008.
- WATHES, C.M.; CHARLES, D.R. **Livestock Housing**. Wallingford (UK): CAB International, 1994. 448p.
- WEBSTER, M.D.; KING, J.R. Temperature and humidity dynamics of cutaneous and respiratory evaporation in pigeons, *Columba livia*. **Journal of comparative physiology**, v.157, p.253-260, 1987.
- WHANG, Y.M.; ELHAD, T.M.S. A comparison of neural network, evidential reasoning and multiple regression analysis in modelling bridge risks. **Expert Systems with Applications**, v.32, p.336-348, 2007.

- WHEELER, E.F.; BOTTCHEER, R. **Evaluating mechanical ventilation systems**. G-82 Fact Sheet. The Pennsylvania State University. Agricultural and Biological Engineering Department, University Park, Pa, 1995.
- YAHAV, S. et al. Air velocity alters broiler performance under harsh environmental conditions. **Poultry Science**, v.80, p.724-726, 2001.
- YAHAV, S. et al. Physiological responses of chickens and turkeys to relative humidity during exposure to high ambient temperature. **Journal of Thermal Biology**, v.20, p.245-253, 1995.
- YAHAV, S. et al. Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. **Poultry science**, v. 83, n. 2, p.253-258, 2004.
- YANAGI JÚNIOR, T. et al. Spatial characterization of thermoacoustic and luminance environment in commercial broiler chicken house. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.1, 2011.
- YUMIANTO, V. et al. Effect of environmental temperature on muscle protein turnover and heat production in tube-fed broiler chicken. **British Journal of Nutrition**, v.77, p.897-909, 1997.
- ZHANG, B.; VALENTINE, I.; KEMP, P. Modelling the productivity of naturalized pasture in the North Island, New Zeland: a decision tree approach. **Ecological Modelling**, v.186, p.299-311, 2005.
- ZHAO, Y. et al. Modelling ventilation rate, balance temperature and supplemental heat need in alternative VS. Convencional laying-hen housing systems. **Biosystems engineering**, v.115, p.311-323, 2013.