



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



ENEDY ALLAN RODRIGUES CORDEIRO

**SIMULAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO CONFORTO TÉRMICO E
AÉREO EM INSTALAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE**

Botucatu

2017

ENEDY ALLAN RODRIGUES CORDEIRO

**SIMULAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO CONFORTO TÉRMICO E
AÉREO EM INSTALAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp - Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Energia na
Agricultura)

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Silvia Regina Lucas de Souza

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C794s Cordeiro, Eneidy Allan Rodrigues, 1991-
Simulação da distribuição espacial do conforto térmico e aéreo em instalações para frangos de corte / Eneidy Allan Rodrigues Cordeiro. - Botucatu : [s.n.], 2017
75 p. : fots. color., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016
Orientador: Silvia Regina Lucas de Souza
Inclui bibliografia

1. Ave doméstica - Criação. 2. Frango de corte - Instalações. 3. Conforto térmico. I. Souza, Silvia Regina Lucas de. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte."

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "SIMULAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO CONFORTO TÉRMICO E AÉREOS EM INSTALAÇÕES PARA FRANGOS DE CORTE"

AUTOR: ENEDY ALLAN RODRIGUE CORDEIRO

ORIENTADORA: SILVIA REGINA LUCAS DE SOUZA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dra. SILVIA REGINA LUCAS DE SOUZA
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Professor Doutor ELVIO GILBERTO DA SILVA
Centro de Ciências Exatas / UNIVERSIDADE SAGRADO CORAÇÃO



Prof. Dr. DOUGLAS D'ALESSANDRO SALGADO
Coordenadoria do Curso de Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP
- Tupã/SP

Botucatu, 03 de fevereiro de 2017.

Dedicatória

Aos meus pais Abiatar Rodrigues Cordeiro e Dalva Maria da Silva Cordeiro, por me apoiarem e me incentivarem a seguir sempre em frente, não temendo qualquer desafio ou problema que surgisse. Eles me ensinaram a acreditar em mim, e que todos nós somos capazes de fazer aquilo que acreditamos e sonhamos, basta querer e lutar com todas as nossas forças.

A minha irmã Debora Rodrigues Cordeiro, que nunca me fez desanimar ou desistir.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado esperança e força para continuar e alcançar meus objetivos, sempre trilhando o caminho certo.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e à Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, por terem aberto as portas para que eu pudesse estudar, e assim realizar o meu mestrado com todo o apoio possível.

A minha orientadora Prof^a Dr^a Silvia Regina Lucas de Souza que, apesar das dificuldades sempre acreditou em mim, apresentando-se em todos os momentos sem medir esforços para me ajudar.

Ao Prof. Dr. Elvio Gilberto da Silva que me colocou em contato com o Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros, pois ambos me incentivaram a realizar o mestrado.

Ao meu amigo Anderson Ravanny de Andrade Gomes, que me abrigou na república onde morava para que eu pudesse realizar uma matéria condensada, e que me auxiliou em vários momentos do mestrado.

À Beatriz Kenickel, minha amiga da universidade e aluna da minha orientadora que me auxiliou na coleta dos dados utilizados no trabalho.

Ao meus amigos arquitetos Andréia Soares Gonçalves Glavina e Eduardo da Silva Pinto, que me auxiliaram na parte arquitetural das instalações apresentadas.

Ao meu ex-gerente na empresa Finch Soluções e amigo Rafael Aparecido de Oliveira, que conseguiu liberação do trabalho para mim, para que eu pudesse realizar o meu mestrado sem preocupações.

Ao Diretor da empresa CERTPONTO, onde trabalho atualmente, e amigo Anderson Grande, que sempre me apoiou nos estudos e me dispensou do trabalho quando foi necessário para que eu pudesse estudar.

Aos meus amigos Ricardo Augusto Fressa Cardoso e Márcio Mattos Magalhães que conheci no trabalho e que me ajudaram e incentivaram muito.

Aos meus amigos Diego Pacanhella Barbosa, Lucas Souza Silva e Thiago Silva Marra que aceitaram que eu realizasse a minha apresentação para eles, me ajudando a apresenta-la da melhor forma possível.

Nunca deixe que lhe digam que não vale a pena
acreditar no sonho que se tem
ou que os seus planos nunca vão dar certo
ou que você nunca vai ser alguém (...) Quem acredita sempre alcança.
Renato Russo.

RESUMO

O Brasil encontra-se entre os líderes em exportação no setor avícola, mas ainda apresenta instalações inadequadas para a produção e manejo de frangos de corte, acarretando problemas na qualidade do ar e conforto térmico do animal. Frequentemente o produtor, pensando no lucro da sua produção, não prioriza o bem-estar dos animais dentro das instalações em que estão confinados, esquecendo-se que nessa situação necessitam do conforto térmico para que possam apresentar melhores resultados na produção. Visando ao bem-estar dos frangos de corte, o projeto propôs estudos com base em CFD (*Computational Fluid Dynamics*) que apresenta simulações que imitam a realidade, por meio do desenho em 3D da instalação em que os frangos são confinados e, assim, obtendo resultados visuais sobre o estado atual da instalação, identificando quais regiões afetam o conforto térmico, a qualidade do ar e quais as melhores opções para contornar essa situação. O projeto foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, que possui todo o suporte necessário para as simulações, disponibilizando dados do ambiente de instalação adquiridos pelos *data logger's*, responsáveis por coletar dados microclimáticos e inseridos no *Simulation* CFD da Autodesk®. Após a coleta e inserção dos dados no simulador, foi possível realizar as simulações estudando a condição das instalações das aves, tanto na parte de poluentes (amônia) bem como conforto térmico, com temperaturas de 27, 28, 29 e 32°C até alcançar a situação ideal para as aves, sendo que as simulações não foram realizadas com a presença delas, por causa do alto poder de processamento que seria exigido para calcular cada ponto de calor emitido. Assim, foram consideradas apenas as temperaturas e condições de contorno necessárias envolvidas para o desenvolvimento e crescimento das aves. O CFD reproduziu bem o ambiente por meio dos resultados monitorados, facilitando a interpretação das simulações por meio da interação com cores e escalas.

Palavras-chave: Avícola; CFD; Bem-estar; Desenho; Instalações; Simulações.

ABSTRACT

Brazil is among the leaders in the poultry sector exportation, but it still presents inadequate facilities for the production and management of broilers, resulting in problems with the air quality and thermal comfort of the animal. Often when the producer thinks about the profit of his production, he does not prioritize the well-being of the animals inside the premises in which they are confined, forgetting that the animals in this situation need the thermal comfort so that the production can present better results. Thinking about the welfare of broilers, the project proposed studies based on CFD (Computational Fluid Dynamics) that presents simulations that mimic reality from the 3D design of the facility, where the chickens are confined and thus obtaining visual results on the current state of the facility, identifying which regions are affecting thermal comfort, air quality and what are the best options to circumvent this situation. The project was carried out at the Fazenda Experimental Lageado farm, with all the necessary support for the simulations, providing data from the installation environment acquired by the data logger's, responsible for collecting microclimatic data and inserted into the Autodesk® CFD Simulation. After the collection and insertion of the data in the simulator, it was possible to carry out the simulations by studying the condition of the birds installations in both the pollutants part (ammonia) as well as thermal comfort, with temperatures of 27, 28, 29 and 32°C until arriving at the ideal situation For the birds, and the simulations were not performed with the presence of the birds, because of the high processing power that would be required to calculate each heat point emitted, thus, only the necessary boundary temperatures and conditions were considered. Development and growth. The CFD reproduced the environment well from the monitored results, facilitating the interpretation of the simulations through the interaction with colors and scales.

Keywords: Poultry; CFD; Welfare; Drawing; Installations; Simulation.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Desafios nos aviários	26
Figura 2 - Formação do bem-estar animal	28
Figura 3 - Molécula da amônia	30
Figura 4 - Sistema de ventilação mecânica tipo pressão negativa	30
Figura 5 - Exemplo de malha dos volumes finitos.....	34
Figura 6 - Tipos de elementos de malha	35
Figura 7 - Discretização estruturada generalizada (a), cartesiana (b).....	36
Figura 8 - Não-estruturada com dois tipos de elementos	37
Figura 9 - Lateral da instalação 1.....	41
Figura 10 - Exaustores da instalação 1.....	41
Figura 11 - Boxes da instalação 1.....	42
Figura 12 - Lateral da instalação 2	42
Figura 13 - Ventilador da instalação 2.....	43
Figura 14 - Boxes da instalação 2.....	43
Figura 15 - Data logger utilizado (analógico)	45
Figura 16 - Geometria da sala a ser avaliada.....	48

Figura 17 - Desenho 3D	50
Figura 18 - Tipos de materiais e suas propriedades aplicadas	51
Figura 19 - Condições de contorno aplicadas	54
Figura 20 - Malha automática.....	55
Figura 21 - Simulação (32°C) - Dados coletados.....	56
Figura 22 - Simulação (29°C)	57
Figura 23 - Simulação (28°C)	58
Figura 24 - Simulação (27°C)	59
Figura 25 - Desenho 3D	60
Figura 26 - Tipos de materiais e suas propriedades aplicadas	60
Figura 27 - Condições de contorno aplicadas	61
Figura 28 - Malha automática.....	62
Figura 29 - Simulação da amônia.....	63
Figura 30 - Condições de contorno	64
Figura 31 - Simulação (30 °C)	65
Figura 32 - Simulação 27°C sem exaustor no teto	66
Figura 33 - Simulação 27°C com exaustor no teto (próximo a parede)	67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Termos da equação generalizada	33
Tabela 2 - Variáveis pertencentes à equação diferencial.	34
Tabela 3 - PMV	47
Tabela 4 - Conversão de joule para W.....	53

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Equação generalizada.....33

Equação 2 - Equação de potência.....54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	23
2	OBJETIVOS.....	25
2.1	Objetivos gerais	25
2.2	Objetivos específicos	25
3	REVISÃO DE LITERATURA	26
3.1	Frangos de corte no Brasil.....	26
3.2	Desafios no aviário	26
3.3	Bem-estar animal	27
3.4	Qualidade do ar	29
3.5	Amônia.....	29
3.6	Ventilação por pressão negativa	30
3.7	Ventilação natural	31
3.8	Computational Fluid Dynamics (Fluidodinâmica Computacional) - CFD 31	
3.9	Modelagem numérica.....	32
3.10	Malhas computacionais.....	35
3.10.1	Malha estruturada	36
3.10.2	Malha não estruturada.....	37
3.11	Aplicação de simulador no ambiente aéreo dos galpões das aves	37
4	MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1	Delimitação dos campos de pesquisa	40
4.2	Local	40
4.2.1	Instalação 1 – Conforto térmico	40
4.2.2	Instalação 2 – Conforto térmico e poluente aéreo	42
4.3	Animais	43
4.4	Tipos de aviários.....	44
4.5	Procedimento de monitoramento	44
4.5.1	Data Logger.....	44
4.5.2	Ambiente térmico interno.....	45
4.6	Softwares	45
4.6.1	AutoCAD	46
4.6.2	Simulation CFD	46

4.7	Configurações do computador utilizado nas simulações	47
4.8	Geometria utilizada	47
4.8.1	Instalações	48
4.8.2	Condições de contorno	48
5	RESULTADOS	50
5.1	Instalação 1 - Simulação do conforto térmico	50
5.2	Instalação 2	59
5.2.1	Simulação de poluente aéreo (Amônia)	59
5.2.2	Simulação do conforto térmico	63
5.3	Viabilidade do modelo	65
5.3.1	Avaliação de aceite	67
6	CONCLUSÕES	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O setor avícola representa o terceiro maior produto de exportação do agronegócio brasileiro, colocando o Brasil na liderança das exportações com qualidade e contribuindo, assim, para o fortalecimento da balança comercial. Em um país tropical, como é o caso do Brasil, torna-se ainda maior o desafio de manter-se entre as primeiras colocações, pois ainda encontramos instalações inadequadas, o que acarreta prejuízo ao produtor e falta de conforto térmico e bem-estar para os animais. Como a prioridade dos animais é manter sua homeotermia, temperaturas fora da faixa de conforto térmico resultam em desvio da energia da produção para reter ou perder calor, o que implica queda de produtividade. Desse modo, o conforto térmico é importante para que o frango de corte possa manter constante sua temperatura corporal, durante a fase de crescimento e durante desafios do ambiente térmico (NÄÄS et al., 2010). Segundo Rodrigues et al. (2009), problemas de ordem estrutural das instalações que venham proporcionar situações inadequadas de ventilação, renovação de ar, acúmulo de gases, carga térmica excedente, podem ser considerados fatores de risco, podendo apresentar instalações com pouco ou nenhum conforto térmico, distanciando dessa forma os animais das condições de termoneutralidade, que maximizam a produção. Segundo o mesmo autor, essa deficiência poderá apresentar problemas de saúde e qualidade final do produto. Além disso, no ambiente de criação animal podem-se encontrar partículas suspensas no ar, que poderão ser prejudiciais à saúde tanto do animal quanto ao do tratador. Esse ambiente pode ser avaliado sob diversos aspectos e enfoques, um deles seria o ar disponível nas proximidades ao animal, ou poluentes que potencializam infecções e doenças respiratórias causadas por agentes oportunistas.

Na percepção bioclimática, um dos efeitos indesejáveis da radiação solar é a temperatura de cobertura, que influencia na carga térmica da radiação incidente em decorrência dos materiais de cobertura (SILVA; SEVEGNANI, 2001; BAÊTA; SOUZA, 2010). O emprego de sistemas de climatização aumenta progressivamente na produção animal, cuja função é manter ambiente térmico adequado com a temperatura de conforto térmico que os animais exigem em determinadas fases da vida produtiva.

Uma técnica muito eficaz em relação a esse monitoramento, que possibilita a estimativa do fluxo de ar das instalações, são as simulações matemáticas que demonstram como os poluentes aéreos se comportam no meio atmosférico, por meio de modelos de dispersão gasosa ou qualquer outro fluido. Essas simulações são chamadas de *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Com as técnicas de CFD é possível elaborar diversos cenários para o mesmo problema, mudando parâmetros, verificando resultados com diferentes condições de contorno, analisando riscos, e tudo isso com elevada confiança e rapidez (ELARRAT, 2006). Dessa forma, seria possível fazer o mapeamento bidimensional do ambiente aéreo da instalação, e apontar onde há falhas no sistema de ventilação, otimizando a qualidade do ambiente de criação, diminuindo os impactos ambientais.

A proposta deste trabalho foi simular o ambiente da instalação para frangos de corte com a técnica de CFD, para mapear os poluentes aéreos e o microclima, visando a aprimorar o conforto térmico e bem-estar das aves.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Utilizar o simulador específico para a distribuição espacial dos poluentes aéreos e microclima, visando a aperfeiçoar o conforto térmico nas instalações para frangos de corte.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar o mapeamento das condições ambientais e aéreas no interior de aviários, utilizando as técnicas de CFD;
- Avaliação da eficiência do sistema de climatização;
- Simular alternativas de sistemas de ventilação visando à correta renovação de ar nos aviários;
- Realizar comparação das variáveis registradas manualmente com os dados simulados pela ferramenta;
- Propor alternativa de sistemas de ventilação por meio dos dados obtidos no monitoramento;
- Avaliar a viabilidade do uso do simulador junto aos produtores, técnicos e trabalhadores.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Frangos de corte no Brasil

O Brasil apresenta grande crescimento na avicultura, segundo Abef (2007) citado por Nazareno et al. (2009), o Brasil teve produção de 10,2 milhões de toneladas de carne de frango, resultado que fez com que o Brasil obtivesse a terceira posição entre os maiores produtores mundiais de carne de frango, ficando atrás apenas de Estados Unidos e China, que apresentaram produção de 16,2 e 11,5 milhões, respectivamente.

O Brasil pode ser classificado como importante país exportador de carne de frango, do qual grande parte da carga tem como destino países com restrições específicas no alojamento, considerando o bem-estar das aves. Um dos poluentes que pode ser encontrado com frequência e com índices elevados de concentração em aviários, é a amônia (OWADA et al., 2007).

3.2 Desafios no aviário

A Figura 1 demonstra os desafios que devem ser superados na criação de aves em cativeiro, e como isso pode afetar o lucro ou o prejuízo do produtor.

Figura 1 - Desafios nos aviários



Fonte: Adaptado de ZANUSSO, s.d.

Um ambiente confortável para a criação de aves possui temperaturas entre 18 e 28 °C e umidade relativa entre 50 e 70% (TINOCO, 2001).

Segundo Oliveira et al. (2006) a faixa de temperatura considerada ideal para o desenvolvimento dos frangos de corte situa-se entre 18 e 26°C e 18 e 28°C.

A faixa de termoneutralidade para as aves em fase de crescimento está entre 20 e 26°C (CARVALHO, 2010).

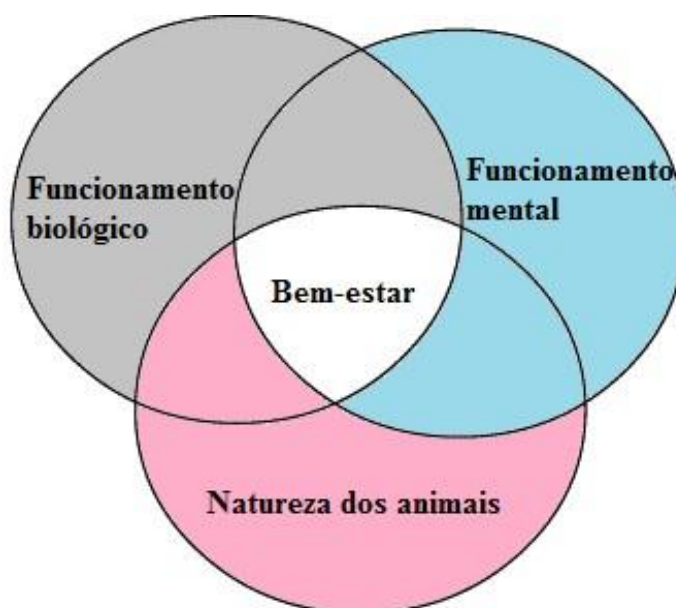
3.3 Bem-estar animal

Segundo Appleby (1999) citado por Galhardo e Oliveira (2006), pode-se dizer que o bem-estar animal refere-se à qualidade de vida que os animais levam.

Oliveira e Galhardo (2007) abordam o conceito em que a área científica do bem-estar animal tem como finalidade a caracterização da qualidade de vida deles, e a elaboração de estratégias que permitam incrementar a qualidade de vida dos animais, quando encontrados sob a responsabilidade de humanos.

De acordo com Fraser et al. (1997) citados por Galhardo e Oliveira (2006), o bem-estar animal pode ser definido em três vertentes fundamentais: o funcionamento orgânico, as experiências mentais e a natureza dos animais conforme apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Formação do bem-estar animal



Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA; GALHARDO, 2007).

Broom (1998) e Appleby (1999) citados por Oliveira e Galhardo (2007) explicam que dentro do contexto dos animais, o conceito de bem-estar animal acrescenta em relação à saúde à incorporação da dimensão mental dos animais, a capacidade consciente de sentir junto a características cognitivas que estão associadas, e que constituem elementos da dimensão mental do bem-estar animal.

Para Fraser et al. (1997) e Dawkins (2004) citados por Galhardo e Oliveira (2006) a natureza do animal pode ser classificada como as necessidades de eles poderem expressar seu comportamento natural.

A saúde e o funcionamento orgânico são considerados aspectos fundamentais para o bem-estar do animal. Doenças, ferimentos, malformações e má nutrição podem ser caracterizadas como as principais ameaças ao equilíbrio orgânico dos animais. Em geral, para que se possa alcançar sinais positivos de saúde, é necessário boa alimentação, bom aspecto físico, taxa de reprodução e crescimento normais, boa longevidade e taxas de mortalidade reduzidas (DUNCAN, FRASER, 1997).

Segundo Broom (1998), Appleby (1999) e Mendl & Paul (2004) citados por Oliveira e Galhardo (2007), estados mentais negativos como dor, medo, tédio, entre outros induzem ao mal-estar, já estados mentais positivos tais como alegria, conforto e prazer trazem como consequência estados mentais positivos.

3.4 Qualidade do ar

A qualidade do ar é destaque em pontos de estudos no sistema de controle ambiental, que são focados na saúde do animal que vive em total confinamento e também na saúde do trabalhador que está em contato com o animal (NÄÄS et al., 2007).

É muito importante ter o controle sobre o ambiente em que os animais estão alojados, segundo Calvet et al. (2010) citado por Carvalho (2011), é de suma importância adequar a ventilação e a emissão de gases poluentes existentes no galpão para que se possa conseguir melhora no ambiente interno das aves.

A quantidade de ar por unidade de tempo pode ser classificada como ventilação mínima, ela é necessária para manter a qualidade do ar e atender à demanda de oxigênio das aves, visando ao bem-estar e à saúde do animal sem influenciar a temperatura e sensação térmica deles (CARVALHO et. al, 2011).

Segundo Brasil (1985) e Pinto et al. (1993) citados por Nääs et al. (2007), as doenças respiratórias apresentadas pelas aves confinadas são geralmente resultados das más condições da qualidade do ar presentes dentro do aviário e a segunda maior causa de anormalidades nos animais.

3.5 Amônia

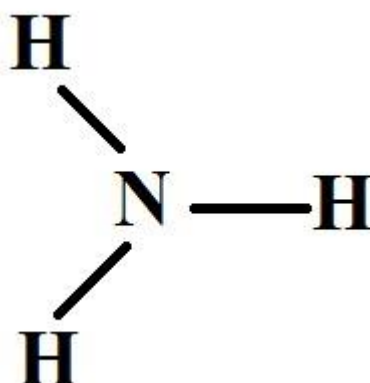
Um dos poluentes encontrados com maior frequência em instalações de aves com alta concentração, e principalmente em ambientes que são mantidos fechados, é a amônia (Owada et al., 2007).

A Amônia é um gás incolor e consideravelmente mais leve que o ar em temperatura ambiente, possui odor muito forte (FELIX; CARDOSO, 2004).

Para Sainsbury (1981), Hellickson e Walker (1983), Hinz e Linke (1998), citados por Owada et al. (2007) são reais as evidências sobre os efeitos da amônia para a saúde animal, podendo causar problemas respiratórios por meio da exposição contínua a esse poluente.

A Amônia, como pode ser vista na Figura 3, é uma molécula formada por três átomos de hidrogênio ligados a um átomo de nitrogênio de forma molecular NH_3 (SUSLA, 2008).

Figura 3 - Molécula da amônia

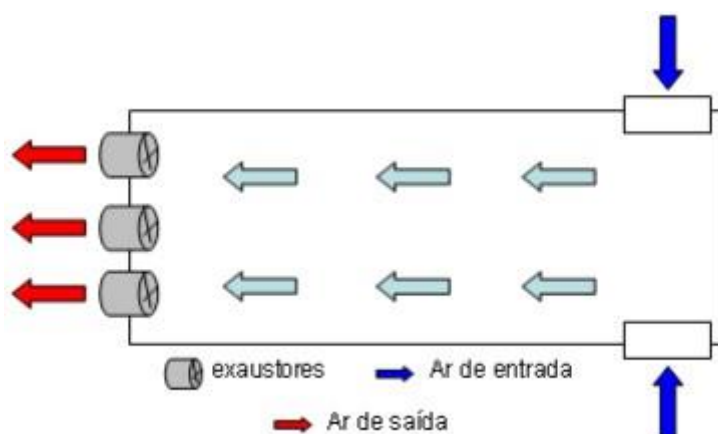


Fonte: Elaboração própria.

3.6 Ventilação por pressão negativa

No processo de ventilação por pressão negativa, como pode ser visto na Figura 4, os exaustores por meio de sucção forçam o ar de dentro para fora do aviário, formando parcialmente o vácuo no interior do galpão, quando considerado que ali existe isolamento adequado com cortinas (LIMA, 2011).

Figura 4 - Sistema de ventilação mecânica tipo pressão negativa



Fonte: (LIMA, 2011).

Para calcular a taxa de ventilação do sistema por pressão negativa, é necessário saber qual o dimensionamento do número de exaustores conectados com a área de abertura para a entrada e velocidade do ar resultante no galpão (CURI; MOURA; VERCELLINO, 2014).

3.7 Ventilação natural

Segundo Albright (1990) citado por Lima (2011), pode ser considerada ventilação natural a ventilação que é induzida por meios naturais, podendo ser ajustada para realizar a renovação do ar assim como a ventilação mecanizada, desde que seja realizado um projeto adequado da instalação junto a boas condições climáticas.

A ventilação natural é responsável por regular o clima interno de uma edificação por meio de troca de ar pelas aberturas. Uma boa circulação de ar dentro do ambiente construído proporciona a diminuição do gradiente térmico e contribui para a renovação do ar interno da edificação (remoção dos poluentes), que podem acarretar problemas na produtividade e saúde dos ocupantes do ambiente (MAZON; SIVA; SOUZA, 2006).

3.8 *Computational Fluid Dynamics* (Fluidodinâmica Computacional) - CFD

O CFD (Fluídodinâmica Computacional) é considerado o ramo da ciência que realiza a junção da Mecânica de Fluídos com os Métodos Numéricos, tal técnica utilizada para discretizar o domínio físico de sistema de equações algébricas no espaço e no tempo (MOURA, 2008).

Segundo Versteeg e Malalasekera (2007) citados por Justi (2012), o CFD trabalha com a análise de sistemas englobando a transferência de calor, fluxo de fluídos e fenômenos associados, tais como reações químicas que podem ser apresentadas por meio de simulação computacional. O CFD proporciona grande leque de aplicações industriais e não industriais:

- Fluxo dentro de difusores;
- Trocadores de calor, com o intuito de se maximizar a troca térmica por análise dos efeitos da utilização de chicanas e aletas e de configurações geométricas alternativas;
- Rotores de bombas visando à otimização da geometria;
- Aerodinâmica de espaçonaves e veículos;
- Combustão em motores e turbinas de gás;

- Engenharia de meio ambiente: distribuição dos poluentes e efluentes;
- Ciclones das unidades de craqueamento catalítico de petróleo (FCC) com a finalidade de se desenvolver projetos com alta eficiência de coleta e reduzida queda de carga, entre outros;
- Engenharia biomédica: fluxo de sangue por meio de artérias e veias;
- Esportes;
- Reatores: tanques agitados como modelo não ideal de reator para a previsão de zonas mortas e de circulação e dos efeitos das chicanas e dos agitadores nas condições de mistura.

A técnica de CFD possibilita a construção de modelos computacionais, Maliska (2004) citado por Teleken (2009) afirma que tais modelos computacionais geram representações dinâmicas do fluido por meio de aplicações da física ao modelo gerado.

Algumas das principais vantagens do uso da técnica de CFD foram descritas por Tu, Yeoh e Liu (2008) citados por Justi (2012):

- Aquisição de dados em regiões de difícil ou impossível obtenção de dados por meio de experimentos;
- Maior rapidez na aquisição de dados, proporcionando maior quantidade de análises;
- A facilidade de mudança das configurações do problema sem grandes investimentos. Consequentemente, o investimento é menor quando comparado com experimentos laboratoriais, dando a maior flexibilidade a engenheiros e cientistas no estudo dos fenômenos associados ao problema;
- A possibilidade da análise dos campos espaço-temporais de fluxo são ferramentas importantes de orientação dos pesquisadores para a solução dos problemas.

3.9 Modelagem numérica

Para o uso do CFD, é necessário conhecer a taxa de ventilação por meio dos fluxos de turbulência, além das taxas de transferência de calor que serão facilitadas pelo uso computacional. Utilizando-se de volumes finitos, será discretizado o campo

do fluxo segundo as recomendações de (MALISKA, 2004), em que serão simuladas as distribuições de escoamento em estruturas com ventilação forçada. O modelo de turbulência levará em conta a conservação de massa, conservação de continuidade e a conservação de energia.

A equação generalizada desenvolvida por Maliska (2004) será adaptada e utilizada para este estudo.

Equação 1 - Equação generalizada

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\phi) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial \phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial \phi}{\partial z}\right) + S^\phi \quad (1)$$

Na Tabela 1 são apresentados os termos da equação generalizada.

Tabela 1 - Termos da equação generalizada

$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi)$	TERMO TEMPORAL
$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\phi)$	TERMO CONVECTIVO
$\frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial \phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial \phi}{\partial z}\right)$	TERMO DIFUSIVO
S^ϕ	TERMO FONTE

Fonte: (MALISKA, 2004).

As equações de conservação poderão ser representadas da maneira acima indicada, modificando somente os respectivos termos temporais, difusivos, convectivos, fontes e a variável correspondente.

A Tabela 2 apresenta a expressão associada às variáveis pertencentes à equação diferencial.

Tabela 2 - Variáveis pertencentes à equação diferencial.

Equação de conservação	ϕ	$\Gamma^\dagger$	$S^\dagger$
Continuidade	1	0	0
Momento em x	u	μ	$B_x + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \vec{V} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial x} \right) - \frac{\partial P}{\partial x}$
Momento em y	v	μ	$B_y + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \vec{V} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial y} \right) - \frac{\partial P}{\partial y}$
Momento em z	w	μ	$B_z + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \vec{V} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{\partial P}{\partial z}$
Energia	T	$\frac{k}{C_p}$	$\frac{1}{C_p} \frac{DP}{Dt} + \frac{\mu}{C_p} \Phi$
Massa de um componente i	C	ρD	0

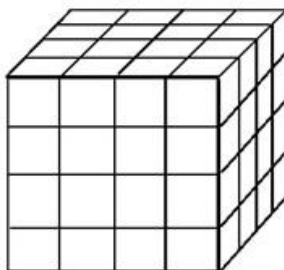
Fonte: (MALISKA, 2004)

As equações de conservação possuem natureza diferencial, mas o computador não consegue resolvê-las nesse formato. Portanto, será necessário discretizar essas equações no espaço (Δx , Δy e Δz) e no tempo (Δt). Por esse motivo, será subdividido o domínio de simulação em pequenos pedaços, o que irá facilitar a solução para o problema. Quanto menor o tamanho da malha computacional, mais os resultados se aproximam do real (da equação diferencial).

O método de discretização para esse estudo será o de volumes finitos que partirá da integração formal das equações de transporte, que reagem com o escoamento de fluido em todos os volumes de controle obtidos pela discretização do domínio.

A Figura 5 apresenta um exemplo de malha a ser utilizada para o método dos volumes finitos.

Figura 5 - Exemplo de malha dos volumes finitos



Fonte: (MALISKA, 2004).

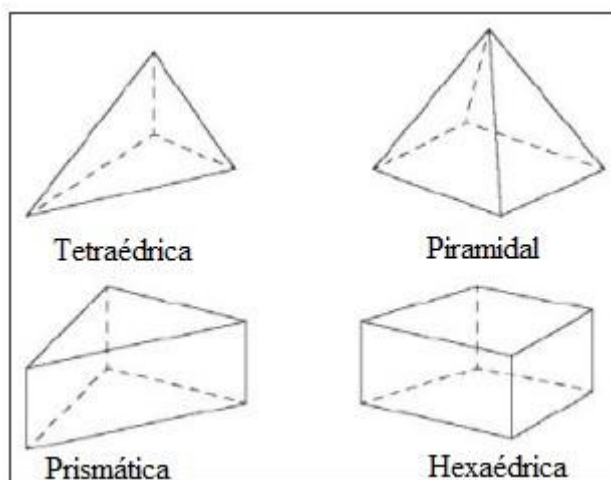
3.10 Malhas computacionais

A malha computacional é composta por linhas e pontos, sendo que os pontos são onde as linhas se interceptam e servem de orientação para a realização de cálculos de propriedades físicas baseado em um modelo matemático. Pode-se dizer que a malha computacional é caracterizada por representar ou discretizar o plano físico utilizado na simulação numérica em que, quando empregada uma malha bem construída o sistema de equações diferenciais (modelo matemático) torna-se simples (FRARI; PEDROSO, 2009).

Segundo Maliska (1995) citado por Frari e Pedroso (2009), a maneira mais simples de se gerar a malha computacional é fazê-la manualmente, realizando o desenho da geometria da forma que se deseja, discretizando-a em uma folha de papel milimetrada, identificando suas coordenadas e se atentando a cada ponto formado pelas intersecções das linhas que representam a região da geometria desejada. As coordenadas, quando informadas ao computador são lidas automaticamente formando a malha computacional da geometria.

Para Moura (2008), a geração da malha pode ser definida como o processo que realiza a discretização espacial, possibilitando a aplicação de um modelo de solução numérica. A malha poderá ser gerada em diversos formatos geométricos, tais como triangular, tetraédrica, ou elementos prismáticos, piramidais e hexaédricos que podem ser vistos na Figura 6.

Figura 6 - Tipos de elementos de malha



Fonte: (MOURA, 2008)

3.10.1 Malha estruturada

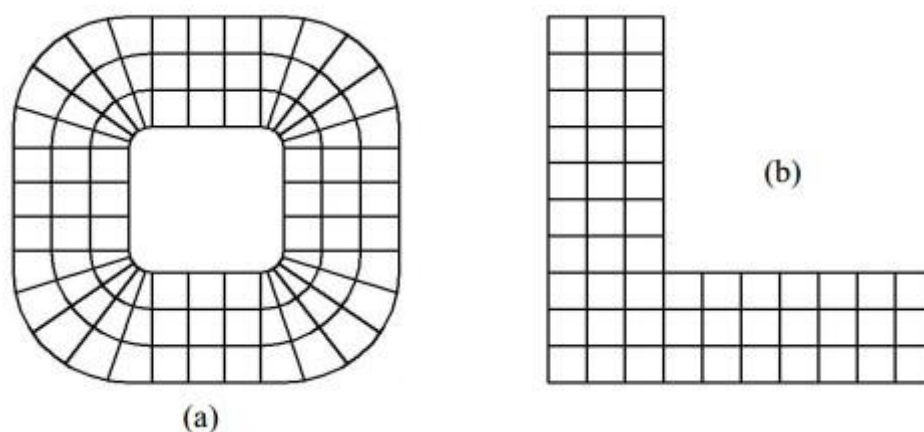
Malha estruturada é o conjunto de linhas com propriedades, em que os membros de uma família de linhas paralelas entre si e o cruzamento com outro família ocorrem apenas uma vez. Simplificando, o fundamento é análogo às coordenadas cartesianas em que cada linha possui apenas um único ponto de cruzamento com outra linha, possibilitando que as linhas sejam numeradas de forma sucessiva (SOARES, 2013).

Para Ferziger e Peric (2002) citados por Justi (2012), as malhas estruturadas (que também podem ser classificadas como regulares) são constituídas por famílias de linhas com a propriedade de que membros da mesma família não cruzem entre si e cruzem com um membro de outra família apenas uma única vez, possibilitando que as linhas de um determinado conjunto sejam numeradas consecutivamente.

Segundo Maliska (2004), os volumes da malha possuem uma lei de construção e sempre o mesmo número de vizinhos, normalmente implicam a utilização de numeração ordenada com o intuito de se obterem matrizes diagonais (tri, penta e heptadiagonais para problemas uni, bi e tridimensionais, respectivamente) possibilitando o uso de solvers mais eficazes para a resolução do problema, sendo divididas em duas classes:

- Generalizada: Seguem um sistema coordenado generalizado, normalmente coincidente com a fronteira do domínio (Figura 7(a));
- Cartesianas: Seguem o sistema coordenado cartesiano (Figura 7(b)).

Figura 7 - Discretização estruturada generalizada (a), cartesiana (b)



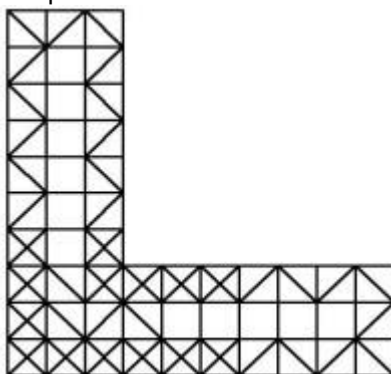
Fonte: (MORAIS, 2004)

3.10.2 Malha não estruturada

De acordo com Ferziger e Peric (2002) citados por Justi (2012), as malhas não estruturadas são utilizadas geralmente quando a geometria que será trabalhada é complexa, tornando-se um tipo de estrutura flexível que pode encaixar em um domínio arbitrário da solução. Dependendo da geometria que será utilizada, as malhas não estruturadas são melhores na questão de se adaptarem ao método dos volumes finitos e abordagem de elementos finitos.

Para Maliska (2004), as malhas não estruturadas podem ser classificadas como aquelas que não respeitam nenhum tipo de lei de construção, em que os volumes de controle não se alinham com um determinado sistema de coordenadas. A parte atrativa da malha não estruturada é que ela apresenta facilidade de adaptatividade e discretização de geometrias irregulares com cantos e saliências mas, por outro lado, apresenta dificuldade no momento de realizar a ordenação, o que origina matrizes mais esparsas acarretando maior tempo computacional, algoritmos de resolução do sistema de equação mais elaborados e, normalmente, recursivos como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 - Não-estruturada com dois tipos de elementos



Fonte: (MORAIS, 2004).

3.11 Aplicação de simulador no ambiente aéreo dos galpões das aves

O CFD pode ser aplicado em transmissão de calor, transferência de massa (difusão, dissolução), transição de fase (fusão, solidificação, ebulição, condensação), reações químicas (combustão, oxidação), aspectos mecânicos

(deslocamento de pistões, hélices, palhetas), tensões e deslocamento de sólidos imersos ou circundantes. Encontram-se diversos *softwares* comerciais à disposição para simulações CFD, por exemplo Fluent, CFX, Star-CD, FLOW-3D, OpenFoam, *Simulation CFD*- Autodesk entre outros.

Um dos benefícios dos modelos de *softwares* fundamentados em CFD é possibilitar a diminuição do número de reiterações das experiências a campo, e otimizar as instalações com base na validação dos dados experimentais, resultando em importância significativa na indústria agropecuária. Esse mérito é relevante, pois um dos problemas que estão presentes nas simulações feitas com outros equipamentos computacionais é a falta de precisão, sendo assim, o CFD soluciona e permite maior eficácia e aplicabilidade da técnica. Os programas de CFD apoiam-se em soluções nas equações de Navier-Stokes, isso é, equações da conservação da massa, momento e energia. A exatidão e a peculiaridade das respostas resultantes da modelagem de CFD estão relacionadas com as grandezas físicas por meio das condições limites no domínio do fluxo, tais como as técnicas que estão associadas com a capacidade do tamanho das condições limites para o fluxo de ar que entra e que sai. Inúmeras vezes, o sucesso dos resultados provém do grau de ciência e competência do usuário que está lidando com a simulação, como também a quantidade dos *grids* (grades) que relata o espaço e o refinamento adequado dos *meshes* (malhas) para resolução dos gradientes locais. Essa modelagem aplicada em CFD também é aplicada em construções rurais para desvendar possíveis problemas presentes com as trocas de ar, auxiliando também quando se tem um ambiente adaptado à produção em relação ao conforto térmico, bem-estar animal e qualidade do ar. Ayad (1999) estudou as propriedades da ventilação de uma sala empregando diversas configurações de abertura, por meio da modelagem em CFD e *Large Eddy Simulation* (LES) como modelo de turbulência na eficácia da ventilação cruzada nas regiões adjacentes ao fluxo de ar.

Autores como Norton et al. (2007) por meio da modelagem CFD qualificaram a eficiência da ventilação natural em um bezerreiro climatizado. Pawar et al. (2006) pesquisaram a refrigeração mais adequada para aves poedeiras em gaiolas com a finalidade de definir as particularidades de propagação da doença “influenza aviária”, comparando dois métodos de ventilação e emissão de gases nocivos ao meio ambiente como a amônia. Damasceno et al. (2010) utilizaram-se do CFD para avaliar e validar um modelo na previsão de temperatura e velocidade do ar, em um

conjunto de distribuição com duto acoplado a um forno de aquecimento utilizado em instalações de aves em regiões tropicais e países subtropicais.

De forma qualitativa e quantitativa, Seo et al. (2009), observaram o fluxo de ar, disposição da temperatura e o rendimento do sistema convencional de ventilação por meio de chaminés, difusores de ar e *inlets* empregados na Coreia em situação de inverno extremo, o qual alcança temperatura de -20°C , empregando a modelagem de CFD com o propósito de melhorar as trocas de ar no interior das instalações de frango de corte. Kacira et al. (2008), potencializaram o fluxo de ar no interior de estufas, já que o uso do sistema de ventilação natural, na maioria dos casos, não é suficiente. Em condições como essa, a utilização do CFD é recomendada para obter o melhor posicionamento das aberturas para trocas de ar. Além do mais, o conjunto do sistema de termorregulação e a modelagem de CFD tem sido considerado um método popular para a definição eficiente das respostas termorregulatórias dos indivíduos inseridos em um determinado ambiente, tal junção demonstra que o modelo CFD tem a capacidade de presumir o ambiente proporcionado pela ventilação ao redor do indivíduo, enquanto a termorregulação prevê a resposta fisiológica dos indivíduos que estão inseridos naquele ambiente (TANABE et al., 2002). O uso do CFD, é empregado com frequência em trabalhos para analisar ambientes aéreos e térmicos de criações animais, entretanto no Brasil, o uso dessa tecnologia é pequeno, fazendo com que o presente estudo seja oportuno e de grande valia para as pesquisas posteriores.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Delimitação dos campos de pesquisa

O projeto foi dividido em duas etapas, a primeira teve início no segundo semestre de 2014 por meio do levantamento dos dados pré-coletados em instalações próprias da Fazenda Experimental Lageado utilizando *data logger's*.

Os dados foram coletados no mês de novembro de 2014 e foram referentes às condições em que as instalações estavam vivenciando naquele determinado momento, tais condições como temperatura, umidade e também condições dos materiais que constituíam as instalações como cimento, madeira e alumínio. Cada elemento desses possui uma resistividade que foi considerada no momento de se realizarem os cálculos e simulações.

A segunda etapa foi a validação do modelo proposto e a avaliação da viabilidade técnica do uso do simulador junto aos técnicos/trabalhadores e alunos, realizado no decorrer do segundo semestre de 2016.

4.2 Local

O monitoramento foi realizado em instalações para frangos de corte da Fazenda Experimental Lageado, inicialmente foi feito um mapeamento relevante ao universo de dados que contribuam para a melhoria das instalações, do desempenho, conforto térmico, bem-estar e principalmente do controle do ambiente aéreo dos animais que estejam presentes nas instalações.

4.2.1 Instalação 1 – Conforto térmico

As Figuras 9, 10 e 11 a seguir representam a instalação que contempla o sistema de exaustores (pressão negativa) em que foi realizada a simulação de conforto térmico.

Figura 9 - Lateral da instalação 1



Fonte: Próprio autor.

Figura 10 - Exaustores da instalação 1



Fonte: Próprio autor.

Figura 11 - Boxes da instalação 1



Fonte: Próprio autor.

4.2.2 Instalação 2 – Conforto térmico e poluente aéreo

As Figuras 12, 13 e 14 representam a instalação que contempla o sistema de ventiladores (pressão positiva) em que foi realizada a simulação de conforto térmico e poluente aéreo.

Figura 12 - Lateral da instalação 2



Fonte: Próprio autor.

Figura 13 - Ventilador da instalação 2



Fonte: Próprio autor.

Figura 14 - Boxes da instalação 2



Fonte: Próprio autor.

4.3 Animais

A coleta de dados e a avaliação das instalações foram exclusivamente realizadas para os frangos de corte, visando a atender às necessidades de conforto e bem-estar deles.

4.4 Tipos de aviários

Foram avaliadas as instalações do tipo túnel com pressão negativa (exaustores) e convencional (ventiladores), ambas localizadas na Fazenda Experimental Lageado.

4.5 Procedimento de monitoramento

Foram coletadas as condições de contorno das instalações da Fazenda Experimental Lageado, tomando como base as informações contidas no *data logger*, tais informações que foram utilizadas nas simulações matemáticas via *software*.

4.5.1 Data Logger

O *data logger* foi o equipamento responsável por armazenar toda a informação necessária para que as simulações pudessem ocorrer. Segundo Maio (2010) com a necessidade de se armazenarem os dados de medidas efetuadas por sensores, foram desenvolvidos equipamentos analógicos para a captura e armazenamento dessas informações e, recentemente, foram desenvolvidos equipamentos digitais que também podem ser designados como *data logger's*.

O *data logger* é um sistema computacional para registro e processamento de informações provenientes de um módulo de aquisição de dados de sensores ou transdutores de variáveis ambientais como temperatura e umidade. Os dados são guardados e processados localmente em um computador, ou em um sistema microcontrolado e apresentados em display LCD ou impresso (SATO;AMAZONAS, 2010).

De acordo com Maio (2010) o *data logger* recebe as informações de sensores e é responsável por armazenar essas informações digitalmente, possibilitando fácil recolha dos dados.

Figura 15 - Data logger utilizado (analógico)



Fonte: (DATA LOGGER, 2017).

4.5.2 Ambiente térmico interno

4.5.2.1 Variáveis Climáticas

Para o galpão (instalação) os dados de entrada foram as variáveis climáticas: temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar.

Os dados de temperatura e umidade foram coletados através do *data logger*, onde os mesmos foram distribuídos em pontos quadrantes virtualmente distribuídos em pontos equidistantes no galpão, dispostos à 0,50m do piso, coletando e armazenando dados a cada 15 minutos, 24 horas ao dia. A velocidade do vento foi coletada manualmente através de um anemômetro digital alocado em cada quadrante.

4.6 Softwares

Para o desenvolvimento das simulações foi necessário o uso de *softwares* para auxiliar o monitoramento. De acordo com Paulino (2015), *softwares* são sequências de instruções a serem executadas para manipular, redirecionar ou modificar um dado/informação ou acontecimento.

Foram utilizados dois *softwares* fornecidos pela empresa Autodesk, que disponibiliza versões para estudantes gratuitamente. Os *softwares* utilizados foram o AutoCAD e o *Simulation* CFD, ambos versão 2015.

4.6.1 AutoCAD

O AutoCAD possibilita a realização de desenhos tridimensionais (3D), possibilitando a visualização de todos os ângulos e detalhes dos mesmos.

Segundo Villela (2008) o AutoCAD é utilizado em sua maior parte na criação de desenhos técnicos em duas dimensões (2D) e também na criação de desenhos tridimensionais (3D).

4.6.2 Simulation CFD

É muito difícil estimar o conforto térmico pois, essa condição é altamente subjetiva, depende da temperatura do ar, umidade, temperatura radiante, velocidade do ar, taxa metabólica e nível de vestuário. Cada indivíduo passa por essas sensações de diferentes formas com base em sua fisiologia e estado (AUTODESK, 2015).

O *Simulation* CFD foi o *software* responsável por aplicar as condições de contorno (velocidade, umidade, temperatura, entre outras) e realizar simulações de ambiente.

O *software* trabalha com o conceito de malhas automáticas inteligentes, possibilitando que formas geométricas complexas sejam preparadas rapidamente para serem calculadas, resultando na simulação mais precisa.

O *Simulation* CFD é totalmente compatível com o AutoCAD, por isso, possibilita boa integração entre as ferramentas, diminuindo o risco de incompatibilidade no momento em que a forma geométrica for importada para o simulador.

O *software* faz uso do PVM (*Predicted Mean Vote*) para apresentar os resultados das simulações. De acordo com a Autodesk (2015) o PMV é uma escala térmica que foi originalmente desenvolvida por Fanger e mais tarde adotada como um padrão ISO que se estende desde ao frio (-3) até o quente (+3). Os dados originais foram coletados por meio de um grande grupo de pessoas a diferentes condições, dentro de uma câmara climática, podendo assim selecionar a posição na escala que melhor descreveu a sensação de conforto como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 - PMV

Predicted Mean Vote sensationscale	
Value	Sensation
-3	Cold
-2	Cool
-1	Slightly cool
0	Neutral
1	Slightlywarm
2	Warm
3	Hot

Fonte: (AUTODESK, 2015)

A escala aceitável de PMV para que o ambiente se encontre em conforto térmico está entre -0.5 e +0.5 (AUTODESK, 2015).

Para simular os gases foi utilizada a função de Scalar Mixing, responsável por realizar a mistura de fluídos por meio da sua densidade, definindo como 0 o primeiro fluído e 1 o segundo fluído por exemplo. Realizada a simulação, será exibida uma escala de 0 a 1 que apresentará o fluído predominante.

4.7 Configurações do computador utilizado nas simulações

- HP *Pavilion 14 Notebook* PC;
- Processador CORE i5 1.60GHz;
- 4 GB de Memória RAM;
- Intel HD *Graphics Family*;
- *Windows 10 Professional* - 64-Bits.

4.8 Geometria utilizada

Foram avaliados os seguintes pontos para a escolha da geometria a ser utilizada:

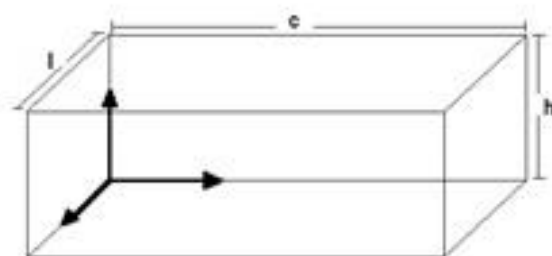
4.8.1 Instalações

A geometria das instalações que foram utilizadas foi simplificada e modelada como um paralelepípedo.

4.8.2 Condições de contorno

A Figura 16 exemplifica a geometria da sala que foi inserida no programa para a realização da simulação.

Figura 16 - Geometria da sala a ser avaliada



Fonte: Elaboração própria.

A geometria foi simplificada e modelada como um paralelepípedo para facilitar o cálculo no simulador. As descrições das condições de contorno foram apresentadas de acordo com os eixos x, y e z que representam as faces da sala (Norte, Sul, Leste, Oeste), saída e entrada do ar, entrada do contaminante, paredes com janelas e cortinas (fechada).

A partir da geometria foram consideradas as condições de contorno abaixo:

- Modelo tridimensional;
 - Desenho em 3D;
- Tipos de materiais;
 - Densidade;
 - Condutividade;
- Regime de escoamento estacionário;
- Concentração de NH_3 ;
- Umidade;
- Temperatura;

- Taxa metabólica das aves;
- Velocidade do ar (Entrada e Saída).

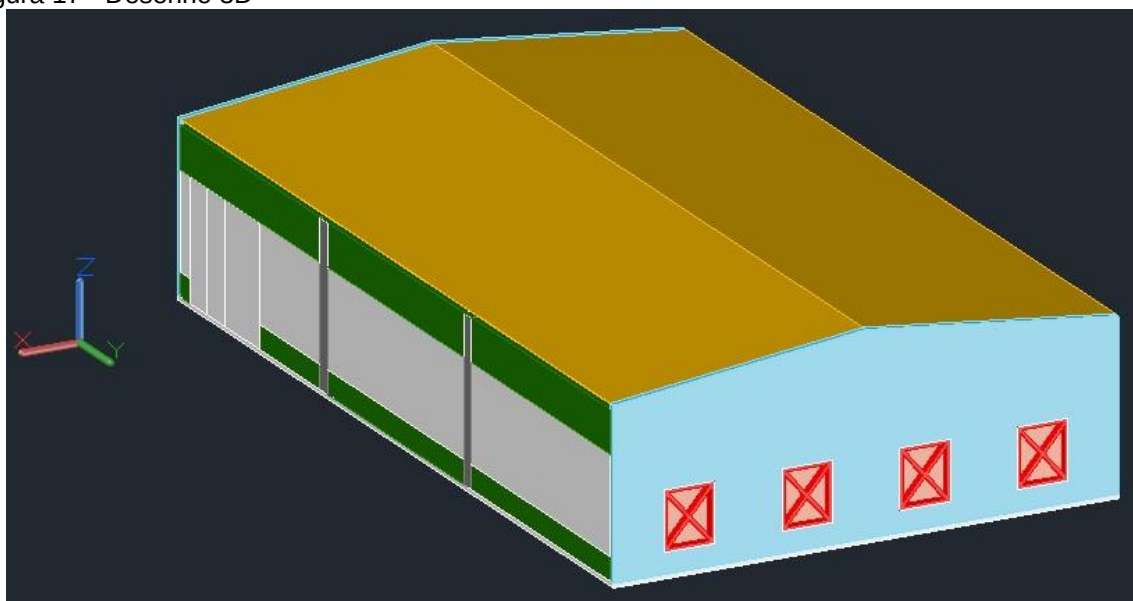
5 RESULTADOS

5.1 Instalação 1 - Simulação do conforto térmico

Tomando por base o conforto térmico, foram realizadas possíveis simulações nos dois aviários da Fazenda Experimental Lageado tornando possíveis dois tipos de resultados. O primeiro resultado foi em relação à ventilação e conforto do animal.

O primeiro passo para a simulação foi realizar o desenho 3D da instalação que receberia as condições de contorno a serem simuladas, como pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 - Desenho 3D

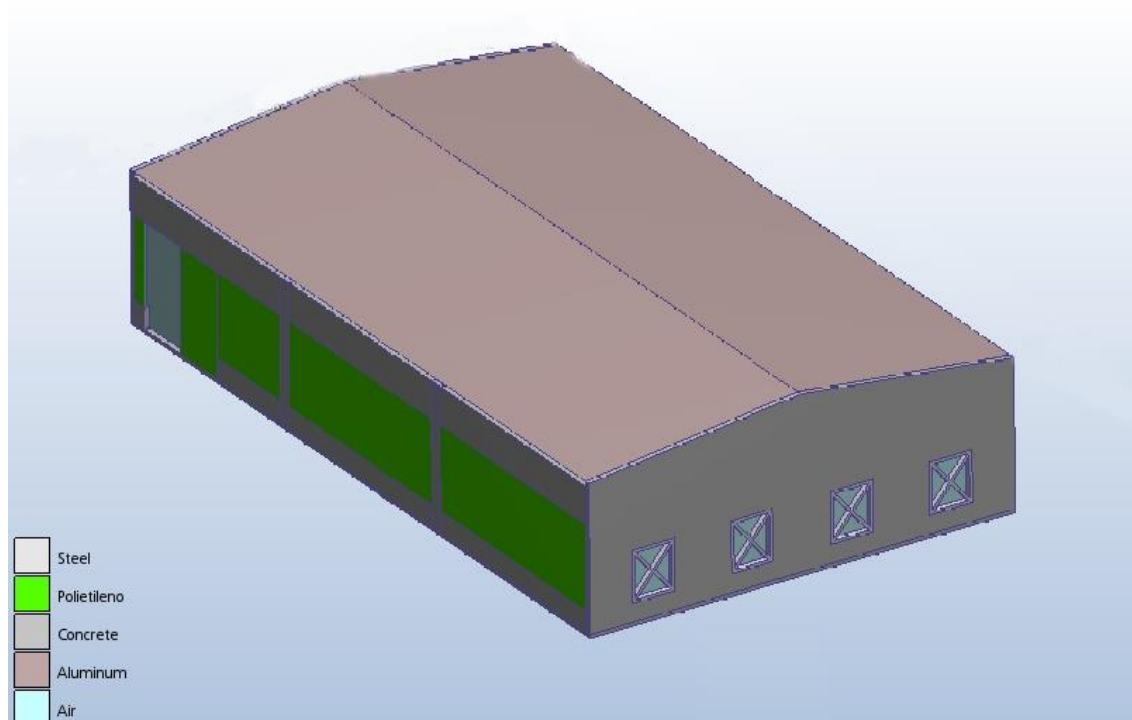


Fonte: (AUTODESK, 2015).

Realizado o desenho, ele foi exportado para o formato .igs e importado para o *Simulation* CFD para que fossem aplicados os materiais e condições de contorno.

A Figura 18 apresenta o desenho importado no simulador e cada parte dele sendo referenciada pelo seu material específico.

Figura 18 - Tipos de materiais e suas propriedades aplicadas



Fonte: (AUTODESK, 2015).

O *Simulation* CFD dispõe de materiais definidos em sua configuração junto a suas propriedades para que sejam aplicados no desenho. Caso o material não exista, ele pode ser criado desde que sejam conhecidas as propriedades do material, por exemplo, a sua densidade.

Os materiais definidos, seguindo a ordem do desenho de cima para baixo são:

- Aço;
- Polietileno;
- Concreto;
- Alumínio;
- Ar.

Definidos os materiais da instalação, o próximo passo foi definir as condições de contorno coletadas da instalação:

- Temperatura de 32°C que incide na instalação;
- Velocidade do ar nas laterais da instalação de 1.5 m/s;
- Exaustores ligados com velocidade média de 1.21 m/s (pressão negativa);

- Foi realizada a média por base da velocidade medida em vários pontos da instalação;
- Pressão 0 Pa.

Algumas condições foram obtidas por meio de cálculos para que pudessem compor as condições já citadas.

A primeira condição a ser realizada o cálculo foi do *Film Coefficient* da instalação. Segundo Ragothaman, Gokulakrishnan e Arjun (2014) o *Film Coefficient* na termodinâmica e mecânica é a diferença de temperatura W/m^2K .

Transmitância térmica, também conhecida como U-Value, é a medida da taxa de perda de calor de um componente de construção. O U-Value é a soma das resistências térmicas combinadas de todos os elementos de construção, incluindo superfícies, espaços de ar e os efeitos de quaisquer pontes térmicas, lacunas de ar e acessórios, podendo ser representado em *watts* por metro quadrado, grau kelvin ou W/m^2K (CALCULATING, 2016).

O U-Value de um elemento de construção é o inverso da resistência térmica total do referido elemento (THERMAL, 2016).

Para iniciar o cálculo é preciso, então, calcular a resistência térmica de cada elemento/material representados por R-Value em que, R-Value é o valor da espessura do produto em metros dividido pela sua condutividade térmica. Adicionado o R-Value a todos os materiais da aplicação foi calculado o recíproco ($1 \div$ total de todos os valores de R) (CALCULATING, 2016).

O outro cálculo necessário para a realização da simulação foi o do *Volume Flow Rate*. O *Volume Flow Rate* (Q) é a medida de volume de fluido que passa em um ponto do sistema por unidade de tempo. Ele pode ser calculado como o produto da área da secção transversal (A), e a velocidade média do fluxo (v). O *Volume Flow Rate* que flui através de uma determinada área de secção transversal por segundo é $Q = Av$ (VOLUMETRIC, 2016).

Por fim, o último cálculo realizado foi para encontrar o *Total Heat Generation* que, como o próprio nome diz, é o total de calor gerado, no caso, o total de calor gerado dentro da instalação das aves por exemplo.

O calor gerado por cada frango equivale a 10 W. Considerando um galpão com capacidade para 30.000 frangos, terá total de 300.000 W gerados (BIANCHI, 2013).

A instalação que foi utilizada na simulação possui capacidade para 2.160 aves dentre os seus 72 boxes (30 aves por boxe). Com esses valores não foi possível realizar a simulação pois, no momento de definir a quantidade gerada de W por cada boxe e realizar a simulação, observou-se que seria necessário um computador com alto poder de processamento para suprir as necessidades da simulação.

Assim, não foi possível realizar a simulação de cada boxe por conta do poder de processamento do computador, foi então considerada a quantidade de W gerado pelo galpão sem as aves, para isso foi convertida a temperatura sobre a instalação (°C) para joule e em seguida convertido o joule para W como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Conversão de joule para W

ConversionsTable	
1 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0005	70 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0369
2 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0011	80 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0421
3 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0016	90 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0474
4 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0021	100 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0527
5 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0026	200 Joules to Celsius HeatUnits = 0.1053
6 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0032	300 Joules to Celsius HeatUnits = 0.158
7 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0037	400 Joules to Celsius HeatUnits = 0.2106
8 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0042	500 Joules to Celsius HeatUnits = 0.2633
9 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0047	600 Joules to Celsius HeatUnits = 0.3159
10 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0053	800 Joules to Celsius HeatUnits = 0.4213
20 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0105	900 Joules to Celsius HeatUnits = 0.4739
30 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0158	1,000 Joules to Celsius HeatUnits = 0.5266
40 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0211	10,000 Joules to Celsius HeatUnits = 5.2657
50 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0263	100,000 Joules to Celsius HeatUnits = 52.6565
60 Joules to Celsius HeatUnits = 0.0316	1,000,000 Joules to Celsius HeatUnits = 526.5651

Fonte: (CONVERSIONS, 2017).

A potência P em W é igual à energia E em joules (J) dividida pelo período de tempo t em segundos (s) (JOULES, 2016):

Equação 2 - Equação de potência.

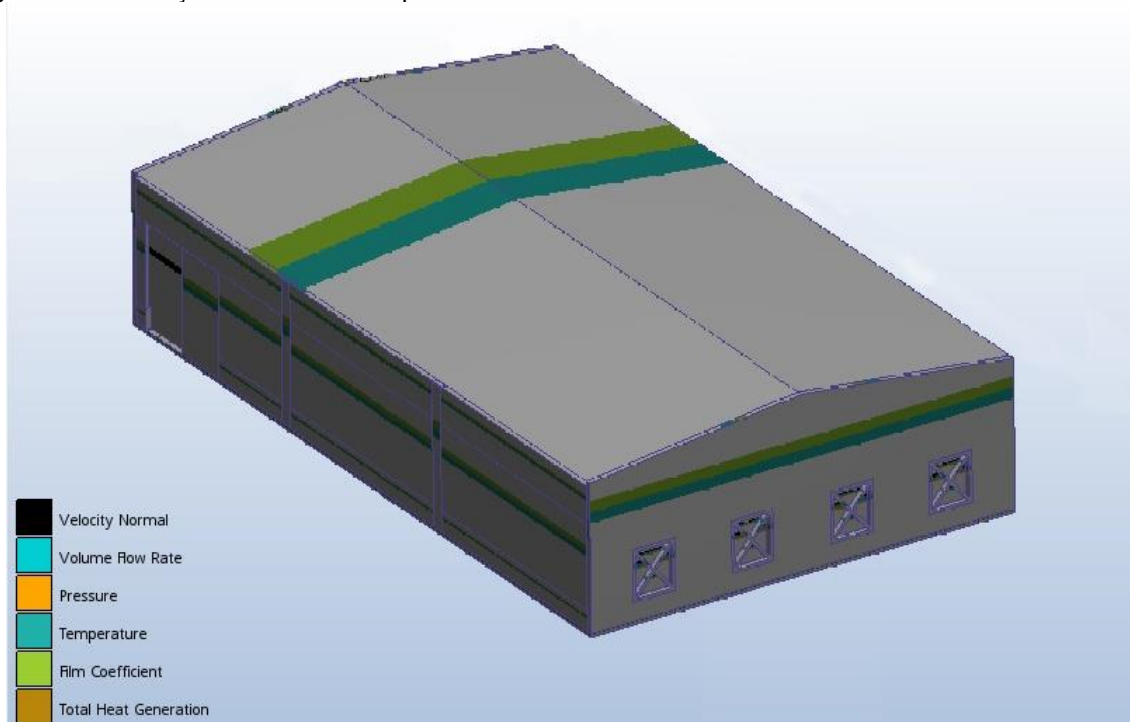
$$P_{(W)} = E_{(J)} / t_{(s)}$$

(2)

Foi considerado um período de duas horas para instalação, verificando assim qual o comportamento sofrido por ela nesse período de tempo.

A Figura 19 apresenta as condições de contorno aplicadas.

Figura 19 - Condições de contorno aplicadas



Fonte: (AUTODESK, 2015).

Condições definidas:

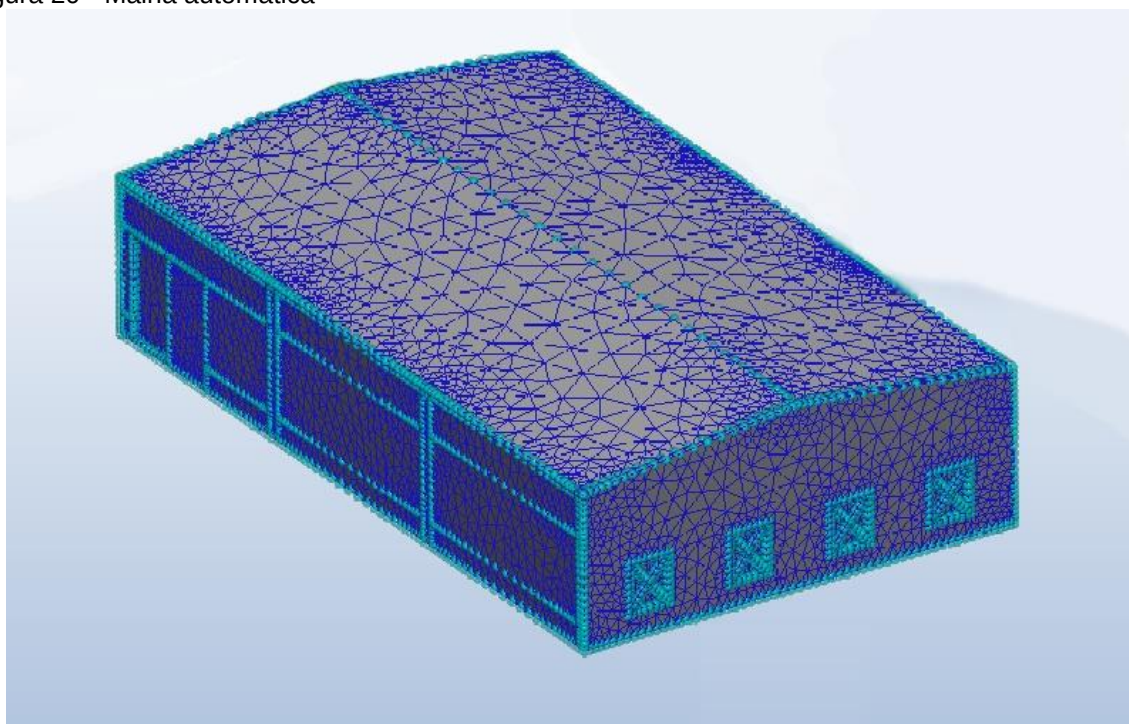
- Velocidade do vento;
- Taxa de fluxo do volume;
- Pressão;
- Temperatura;
- Coeficiente de camada;

- Total de calor gerado.

Definidos os materiais e as condições de contorno, foi dado início à configuração da simulação e criação da malha automática do objeto. O próprio *software* traz consigo algumas configurações referentes ao conforto térmico.

A Figura 20 apresenta a malha automática aplicada sobre o objeto.

Figura 20 - Malha automática



Fonte: (AUTODESK, 2015).

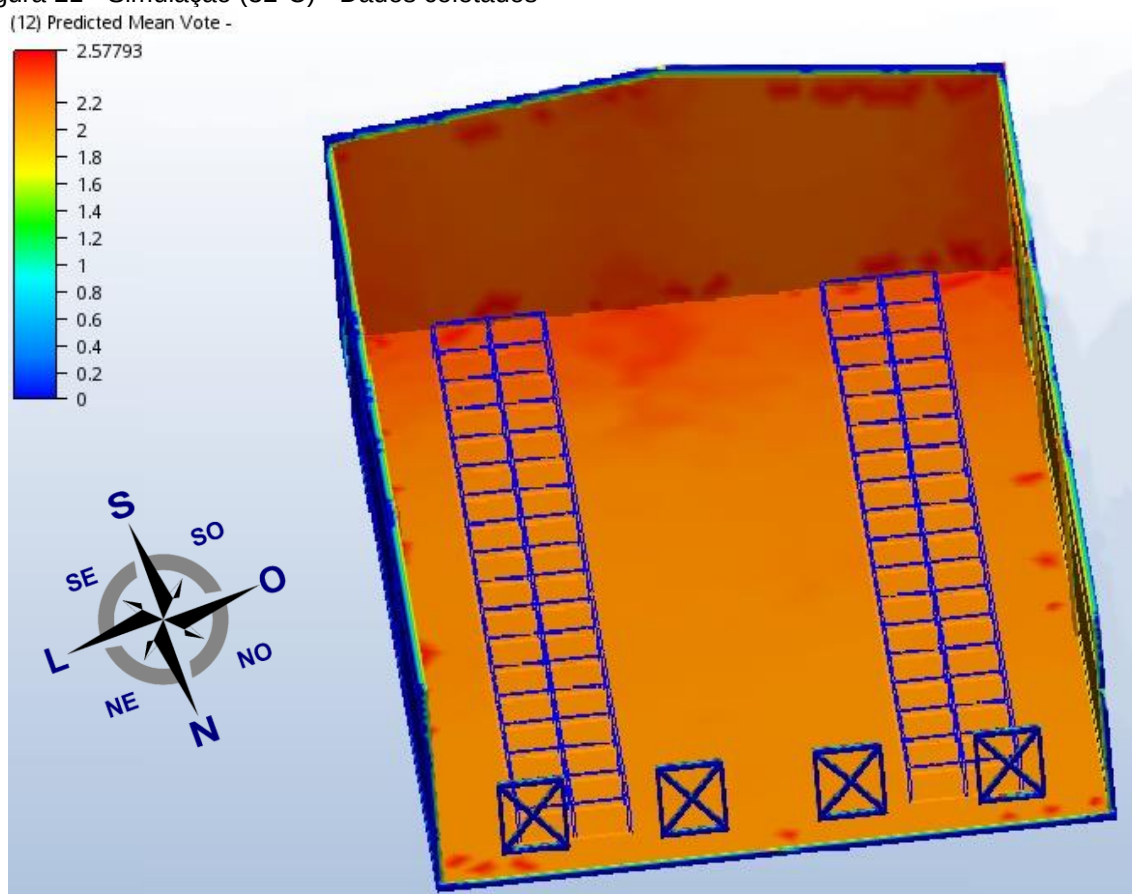
Como a simulação foi realizada para animais, foi preciso alterar a taxa metabólica para um valor que estivesse de acordo com as aves. Para isso, a instalação deve estar entre 80 - 100 W/m² (BROILER, 2016).

Fatores térmico:

- Taxa metabólica: 80 W/m²;
- Umidade: 70%;
 - Foi considerado o valor máximo permitido de umidade para o conforto térmico.

O processo de simulação demorou em média de uma hora e meia a duas horas e apresentou os resultados que poderão ser vistos nas figuras a seguir:

Figura 21 - Simulação (32°C) - Dados coletados



Fonte: (AUTODESK, 2015)

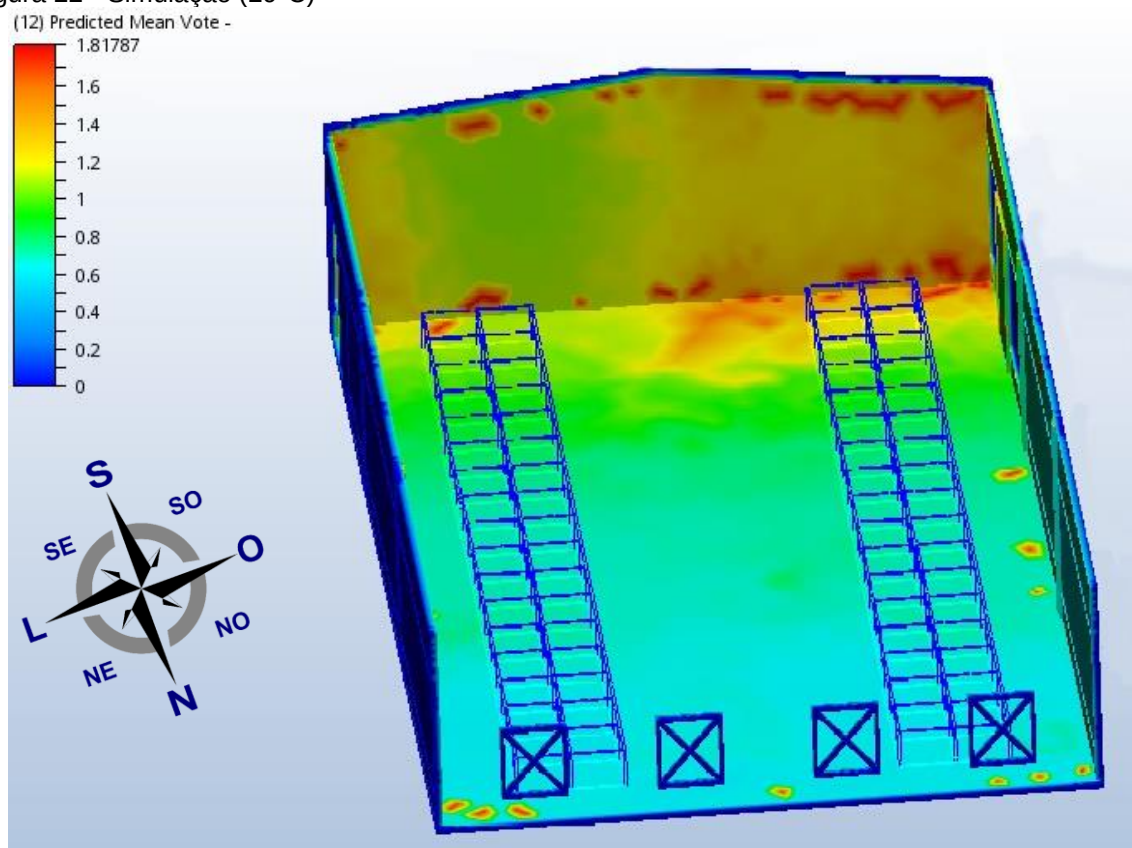
Considerando o PMV, pôde-se perceber que na Figura 21 a instalação não está em condições térmicas ideais para as aves, tornando inviável a sua utilização.

A escala do PMV indica que, se os valores estiverem entre -0.5 e +0.5, a condição exercida será de conforto térmico mas, o que pôde ser visto na escala junto com suas cores é que, a instalação ficou em uma condição acima de +2 (cores em tons de laranja e vermelho), ou seja, maior que o máximo permitido que é de +0.5.

Visto tal condição, foram iniciadas outras simulações para encontrar a condição ideal para o conforto térmico dentro da instalação. Foram mantidas as mesmas condições, menos a temperatura que foi alterada até que pudesse ser visualizada uma melhora significativa na instalação, ou seja, até que ela apresentasse uma escala de conforto térmico ideal.

O *software* possibilitou que fossem criados vários cenários de simulação, e que fossem iniciados ao mesmo tempo. Partindo desse princípio, foram criados cenários com as condições já informadas e com as temperaturas de 29, 28 e 27 °C;

Figura 22 - Simulação (29°C)

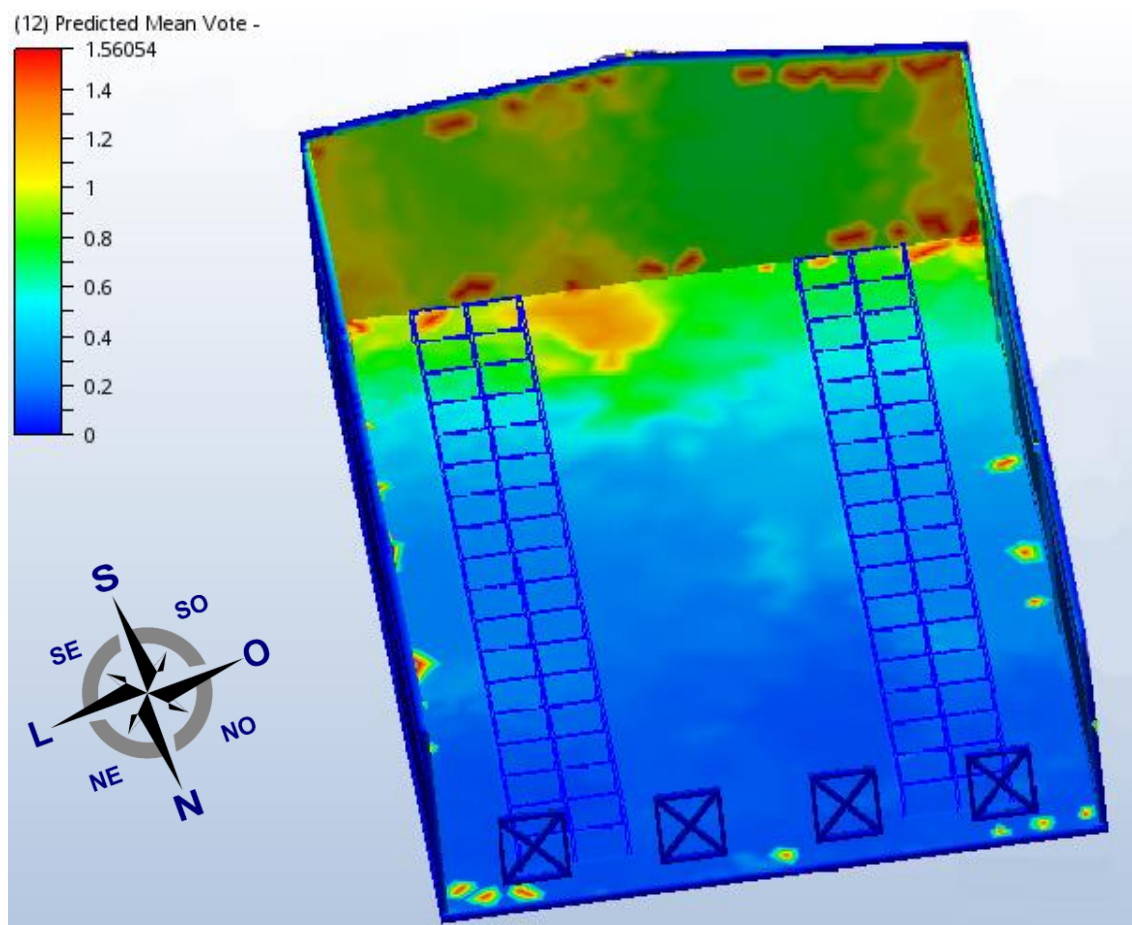


Fonte: (AUTODESK, 2015).

Ocorreu melhora significativa quando considerada a temperatura de 29 °C na Figura 22 mas, ainda não é a condição ideal para as aves. Uma pequena parcela em azul claro está no aceitável pelo PMV de 0.5 mas, se observarmos mais ao fundo a coloração em verde claro, amarelo, laranja e vermelho, perceberemos que esses pontos chegam a atingir 1.81, ultrapassando o máximo permitido de 0.5 e tornando o local muito quente.

As condições apresentadas na simulação com temperatura de 28 °C na Figura 23 já poderiam ser consideradas ideais para as aves mas, ainda não são as condições perfeitas para os animais de acordo com a escala do PMV. As partes identificadas em tons de azul estão dentro da faixa aceitável para o conforto térmico, já as demais partes concentradas ao fundo da instalação se estendem a até 1.5, ultrapassando o limite aceitável de 0.5.

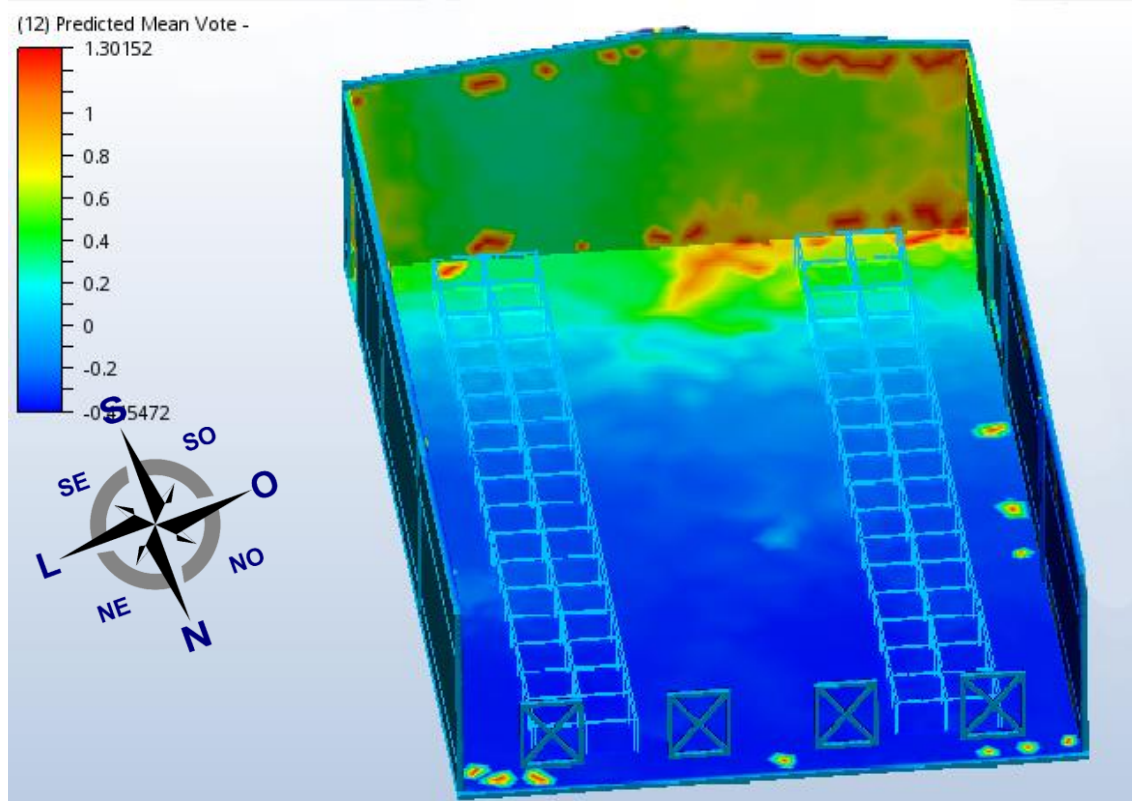
Figura 23 - Simulação (28°C)



Fonte: (AUTODESK, 2015)

A simulação apresentou bons resultados quando considerada a temperatura de 27°C na Figura 24 em que, de acordo com a escala do PMV a instalação apresenta as condições ideais para o conforto térmico. Essas condições podem ser observadas por meio da coloração apresentada em tons de azul claro e escuro, tais tons que estão dentro da escala permitida que é de -0.5 e +0.5.

Figura 24 - Simulação (27°C)



Fonte: (AUTODESK, 2015)

5.2 Instalação 2

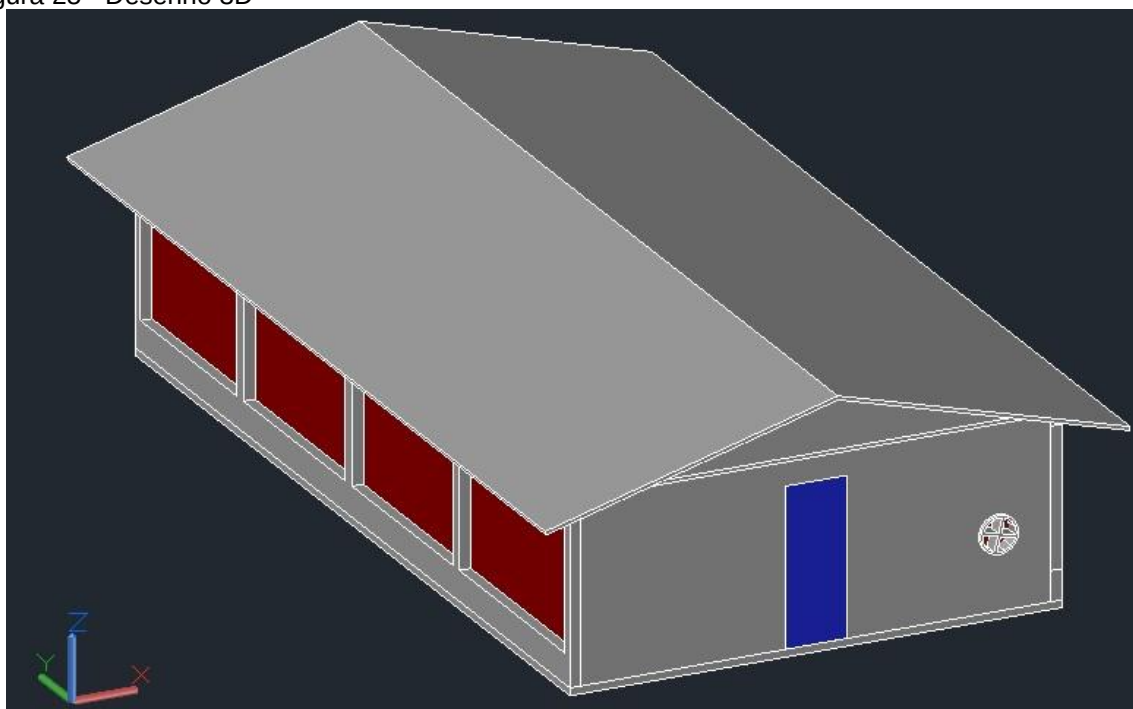
Para a instalação 2, foi realizada a simulação do poluente aéreo e a simulação do conforto térmico (temperatura).

5.2.1 Simulação de poluente aéreo (Amônia)

Foi utilizado praticamente o mesmo procedimento de simulação da primeira instalação, aplicando algumas particularidades da segunda instalação apenas.

Foi realizado o desenho em 3D da instalação para que fosse possível a importação do mesmo para o simulador conforme ilustra a Figura 25.

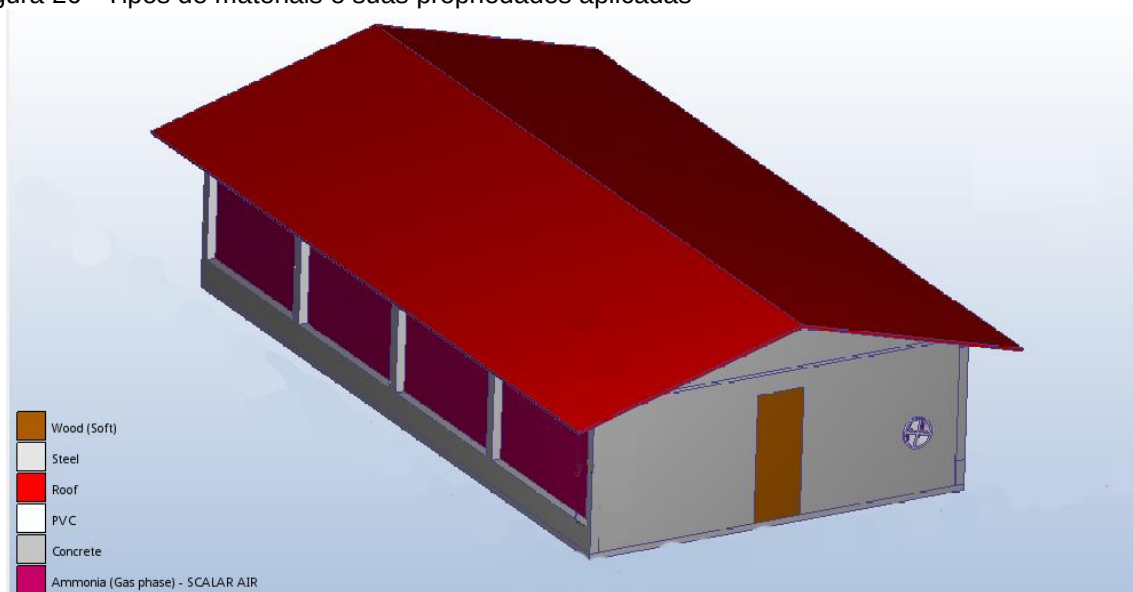
Figura 25 - Desenho 3D



Fonte: (AUTODESK, 2015)

Nesta simulação, o ar não será aplicado como material, será utilizada apenas a amônia como pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 - Tipos de materiais e suas propriedades aplicadas



Fonte: (AUTODESK, 2015)

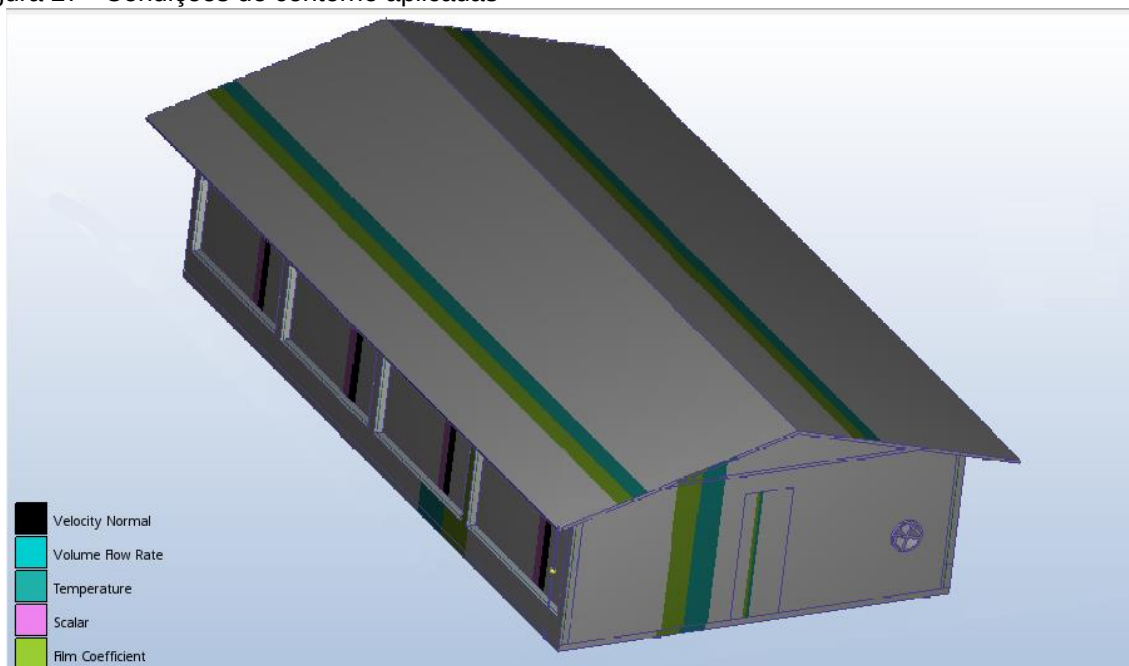
Materiais definidos:

- Madeira;
- Aço;
- Telhado;

- PVC;
- Concreto;
- Amônia.

Definidos os materiais, foram aplicadas as condições de contorno, que podem ser visualizadas na Figura 27.

Figura 27 - Condições de contorno aplicadas



Fonte: (AUTODESK, 2015)

Condições de contorno:

- Velocidade do vento nas laterais de 1 m/s;
- Velocidade do vento dos ventiladores de 1.7 m/s (pressão positiva);
- Taxa de fluxo do volume de 0.333 m³/s;
- Temperatura: 32 °C que incide na instalação;
- Scalar 0 para o Ar e 1 para a Amônia;
- Coeficiente da camada de 0.122 W/m²/K.

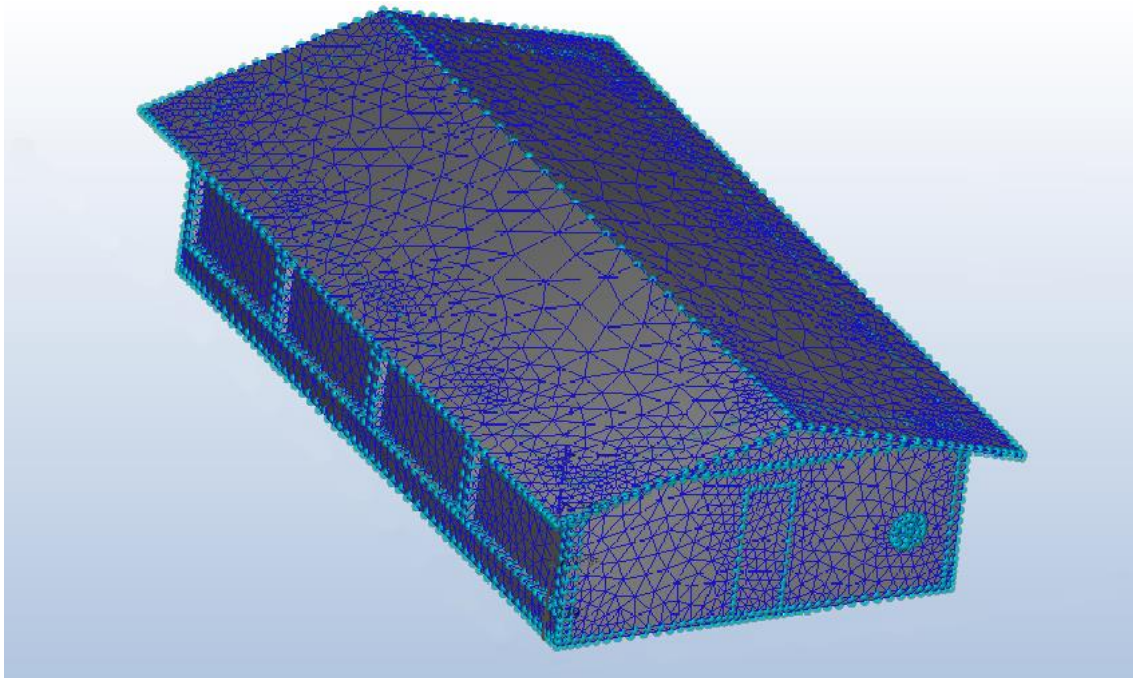
Nessa etapa não foi utilizado o PMV e sim o Scalar Mixing, responsável por realizar a mistura dos fluídos e verificar a concentração de gases na instalação.

Nas condições de contorno, a condição Scalar 0 ficou responsável por representar o ar e a condição Scalar 1 ficou responsável por representar a amônia.

Dentro do material da amônia foi incluída a densidade do ar, possibilitando a mistura entre os gases.

Foi criada a malha automática do objeto, para que pudesse dar sequência na simulação conforme demonstra a Figura 28.

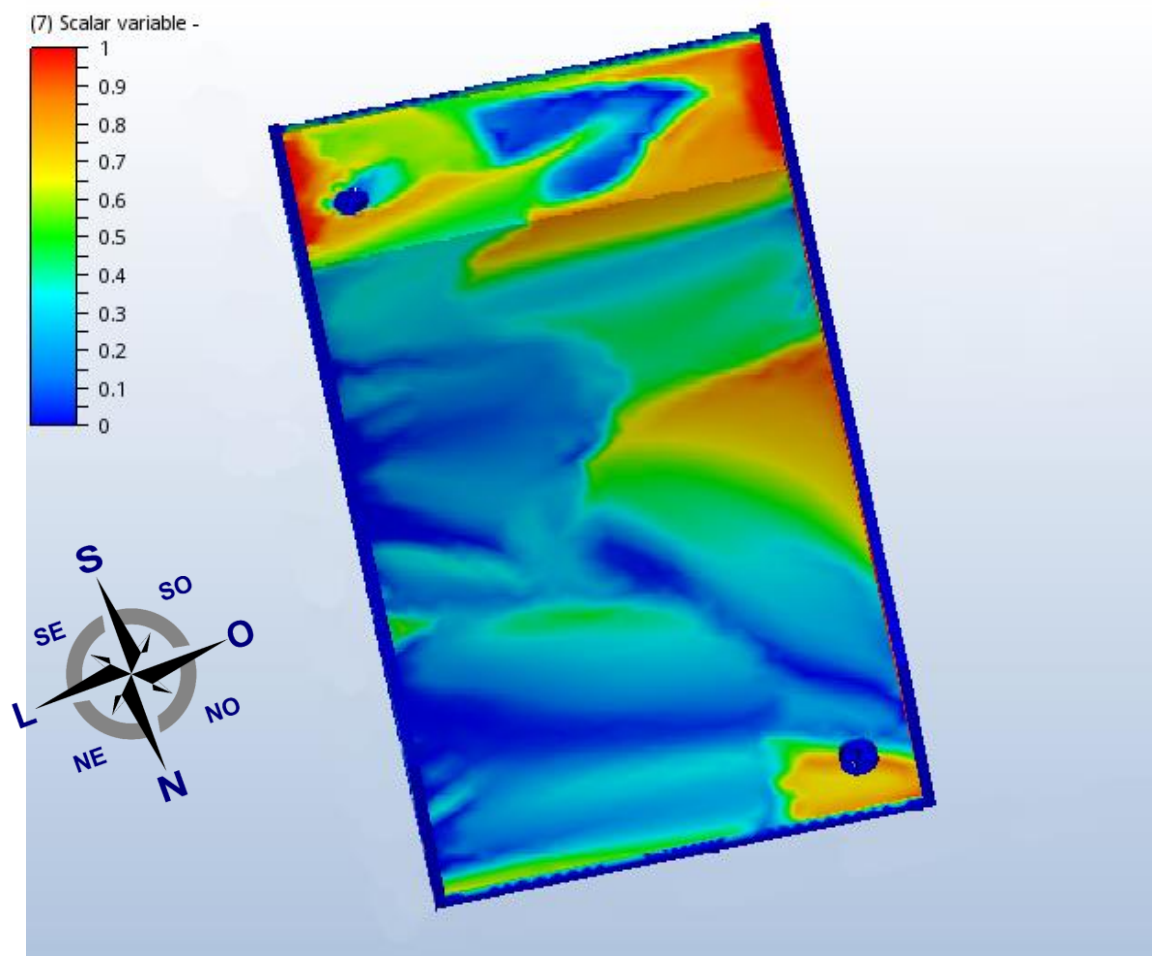
Figura 28 - Malha automática



Fonte: (AUTODESK, 2015)

O processo de simulação de gases levou em torno de 10 minutos, sendo possível ver seu resultado por meio da Figura 29.

Figura 29 - Simulação da amônia



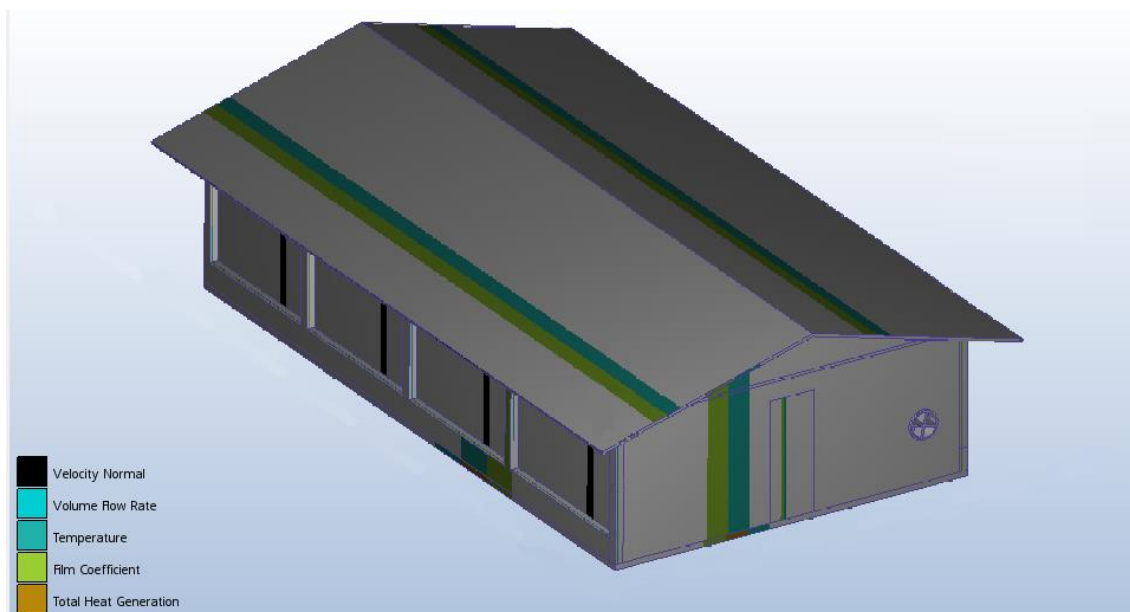
Fonte: (AUTODESK, 2015)

Mesmo com os ventiladores ligados, é possível encontrar vestígios de Amônia na instalação impregnados em algumas partes das paredes mas, é notável também que o fluido predominante dentro da instalação é o ar, trazendo melhora significativa para o ambiente.

5.2.2 Simulação do conforto térmico

O desenho e os tipos de materiais continuaram os mesmos para essa simulação, os únicos fatores que mudaram foram as condições de contorno, que possuem o mesmo conceito de simulação realizada na Instalação 1. As mudanças podem ser vistas na Figura 30.

Figura 30 - Condições de contorno



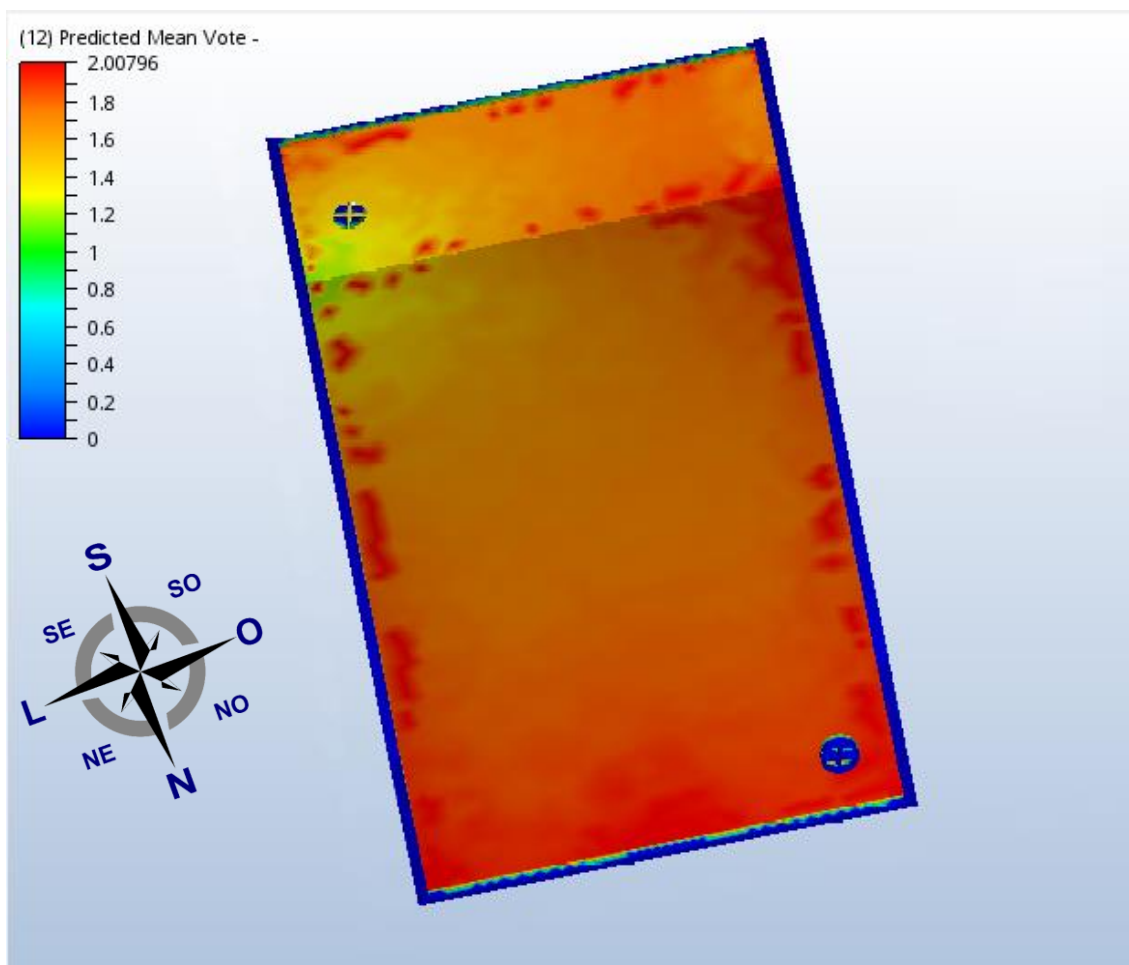
Fonte: (AUTODESK, 2015)

Condições definidas:

- Velocidade do vento nas laterais de 1 m/s;
- Velocidade do vento dos ventiladores de 1.7 m/s (pressão positiva);
- Taxa de fluxo do volume de 0.333 m³/s;
- Temperatura: 30 °C que incide na instalação;
- Coeficiente da camada de 0.122 W/m²/K;
- Total de geração de calor de 7.91 W.

O resultado obtido pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 - Simulação (30 °C)



Fonte: (AUTODESK, 2015)

Por meio da escala do PMV foi possível identificar que, mesmo com os dois ventiladores ligados e a entrada de ar pelas laterais da instalação, ela ainda se apresenta fora do conforto térmico ideal.

A escala apresenta grande concentração em tons de laranja e vermelho que estão entre 1.7 e 2 na escala. Esses valores estão longe dos valores ideais estipulados pelo PMV, que estão entre -0.5 e +0.5.

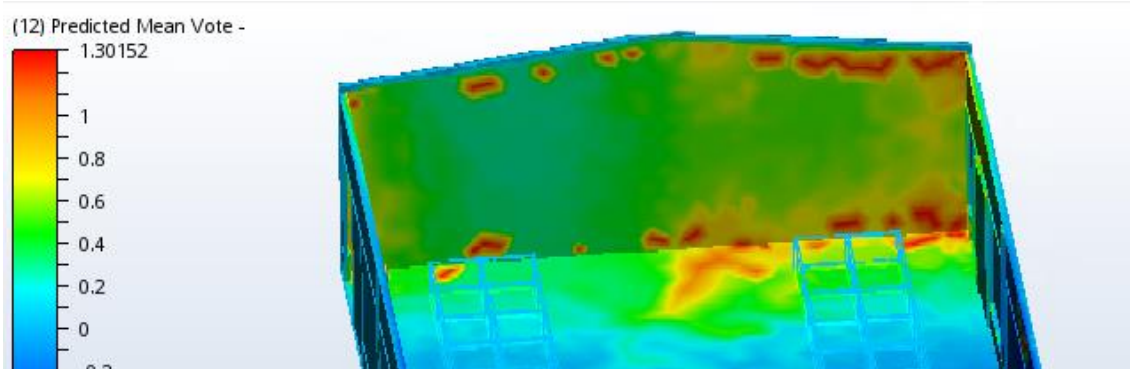
5.3 Viabilidade do modelo

Para a verificação da viabilidade do modelo, foram realizadas simulações em relação ao desenho fiel do galpão e simulações em relação ao desenho do galpão com possíveis melhorias e ajustes para ele, realizando uma comparação das variáveis registradas manualmente com os dados simulados pela ferramenta, visando a apresentar para o produtor em qual momento sua instalação obteve seu melhor estado de ambiência e conforto para os animais.

Como sugestão de aprimoramento, selecionou-se a Instalação 1 na condição de 27° (representada pela Figura 24) que não apresentou condição ideal na parede próxima a entrada de ar (em tons de verde). Com isso, foi inserido um exaustor no teto a um metro de distância da parede que apresentava inconsistência na simulação. O resultado da simulação é representado pela Figura 32 e Figura 33.

A Figura 32 apresenta em sua parede e parte do chão cores em tons de verde, amarelo e vermelho que, dentro da escala de PMV, encontram-se fora do estado de conforto térmico.

Figura 32 - Simulação 27°C sem exaustor no teto

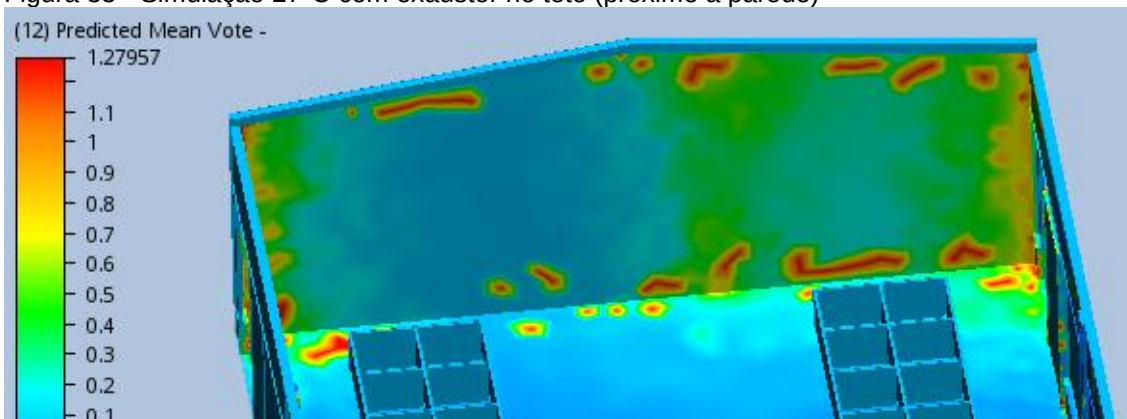


Fonte: (AUTODESK, 2015)

A Figura 33 representa a simulação realizada nas mesmas condições que a Figura 32 mas, com a inclusão do exaustor ligado em uma velocidade de 1.15 m/s no teto. A coloração verde que antes existia no chão e na parede reduziu significativamente, dando espaço à coloração azul.

A escala do PMV também sofreu mudanças, apresentando uma redução nos seus valores, tudo dando-se pelo fato da inclusão do exaustor, sendo ele o responsável pela melhora dentro do ambiente.

Figura 33 - Simulação 27°C com exaustor no teto (próximo a parede)



Fonte: (AUTODESK, 2015)

5.3.1 Avaliação de aceite

As simulações foram viabilizadas junto ao responsável técnico pelas instalações e um aluno da graduação do curso de zootecnia que realiza estágio na instalação estudada, ambos apresentaram os mesmos prós e contras mas, com alguns casos de uso específicos.

O responsável técnico e o aluno gostaram e aprovaram a forma em que as simulações foram dispostas, por meio das cores/escala. Desde que as condições de escala sejam conhecidas (PMV e Scalar) as simulações tornam-se fáceis de serem interpretadas, tanto para eles como para os criadores de frango de corte na opinião deles.

O aluno informou que realizou um estágio em uma empresa de avicultura, e que era difícil identificar pontos de inconsistência/problemas dentro das instalações, por isso, o *software* apresentado seria muito útil na identificação dos pontos de inconsistência.

O técnico responsável, ao observar a simulação correspondente a amônia, informou que os ventiladores da instalação possuem a função de umidificar o ambiente (o que seria uma forma de amenizar a condição da instalação), mas ele não é utilizado pois, a ação umidifica as cordas que são responsáveis pela sustentação do objeto onde é colocada a ração das aves, fazendo com que a água desça pela corda e molhe a ração, criando fungos.

Ambos os entrevistados apresentaram a mesma dificuldade em realização a utilização do *software*, pois, exige alto nível de detalhamento das informações e

conhecimento técnico específico sobre o que será simulado. Essa dificuldade pode ser sanada com treinamentos que auxiliem no entendimento da tecnologia utilizada, propondo uma curva de aprendizagem menor para a realização das simulações.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos levaram à conclusão de que o simulador utilizado conseguiu realizar o mapeamento da distribuição dos poluentes aéreos e microclima dentro das instalações trabalhadas, podendo assim apresentar de forma simples e fácil os diversos cenários vivenciados pelas instalações, nos diversos estados de condição de ambiência em que elas se encontravam.

O simulador pode contribuir para a identificação de pontos de inconsistência térmica e, por meio da análise de tais pontos, pôde-se pensar em uma solução que poderia ser a melhor para o ambiente, sendo essa solução simulada e apresentada como comparativo de melhora ou não. Com isso, podendo apresentar como seria reflexo na produção por meio da melhora do conforto térmico para os animais.

Apresenta-se como proposta de trabalhos futuros o desenvolvimento de um *software* capaz de realizar simulações voltadas especificamente para área agrícola, que exija menor nível de conhecimento técnico e, conseqüentemente, diminuição do treinamento que seria dado, deixando o *software* mais intuitivo, já que seria desenvolvimento único e exclusivo para a área agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSYS CFX. **ANSYS CFX-Solver Theory Guide**. 2013. Disponível em: <[http://148.204.81.206/Ansys/150/ANSYS CFX-Solver Theory Guide.pdf](http://148.204.81.206/Ansys/150/ANSYS%20CFX-Solver%20Theory%20Guide.pdf)>. Acesso em: 01 jan. 2015.

AMERICAN Society For Testing And Materials, ASTM E 2154-01 Standard Practice for Separation and Concentration of Ignitable Liquid Residues from Fire Debris Samples by Passive Headspace Concentration with Solid Phase Microextraction (SPME), **Annual book of ASTM standards** 14.02, 2002.

AUTODESK Simulation CFD 2015. [S.l]: AUTODESK, 2015.

AUTODESK. **Human thermal comfort**. Climate and site analysis. 2017. Disponível em: <<http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/human-thermal-comfort>>. Acessado em: 23 Agosto de 2015.

AUTODESK. Scalar Mixing. 2015. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/cfd/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/SimCFD/files/GUID-DCEC1333-ABBD-477F-9E33-FA3EE7A7EC0E-htm.html>>. Acessado em: 14 de Ago. de 2016.

Ayad, S. S. Computational study of natural ventilation. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 1, n. 3, 1999, p. 49-68.

BAÊTA, F.C., SOUZA, C.F. *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. ImprensaVçosa, MG : Ed. UFV, 2ª ed., 2010, 269 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: CLAV/DNDV/SNAD/MA, 1992, 365p.

BIANCHI M. V. A. Ciência da construção aplicada a galpões de frangos de corte. **Avicultura Industrial**. Comentário avícola. 17 abr. 2013. Disponível em: <http://www.aviculturaindustrial.com.br/noticia/ciencia-da-construcao-aplicada-a-galpoes-de-frangos-de-corte-por-marcus-v-a-bianchi/20130417141823_T_081/>. Acessado em: 20 de Jan. de 2016.

CALCULATING U Values. Disponível em: <http://www.ccfltd.co.uk/Trade-Support/Calculating_U_Values/>. Acessado em:19 de Jan. de 2016.

CARVALHO, F. B. **Efeito da temperatura ambiente e da idade do frango de corte sobre o valor nutricional do milho, farelo e óleo de soja**. 2010. 115 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2010.

CARVALHO, T. M. R. de et al. Qualidade da cama e do ar em diferentes condições de alojamento de frangos de corte. **Pesq. agropec. bras.** Brasília, v. 46, n. 4, Abr. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-

204X2011000400003&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 12 de jan. de 2015.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000400003>.

CONVERSIONS Table. **Kyles Converter**. 2017. Disponível em: <
<http://www.kylesconverter.com/energy,-work,-and-heat/joules-to-celsius-heat-units>>
 Acessado em: 6 mar. 2017.

CURI, T. M. R. C.; MOURA, D. J.; VERCELLINO, R. A. Ventilação de precisão, [avisite.com.br](http://www.avisite.com.br). **Rev. Produção Animal: Avicultura**. 81^a ed. abr. 2014. Disponível em: <<http://www.avisite.com.br/revista/materias/ventilacaodeprecisao.html>>
 Acessado em: 29 de Jan. de 2015.

DAMASCENO, Flávio Alves et al. Computational fluid dynamics (CFD) and it's use for analysis of gas distribution inside animal production facilities: a literature review. **Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica**, Bogotá, v. 14, n. 2, p.83-93, jul. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262011000200009&script=sci_arttext> Acesso em: 12 jan 2015.

DUNCAN, I. J. H. ; FRASER, D. Understanding animal welfare. In M. Appleby & B. O. Hughes (Eds.), **Animal welfare** (pp.19-32). London: CABI Publishing. 1997.

ELARRAT, I. F. **Dispersão de gases e CFD**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <www.chemtech.com.br> Acesso em: 17 de abr. 2008.

FELIX, E. P.; CARDOSO, A. A. Amônia (NH₃) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 27, n. 1, Feb. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000100022&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 20 Set. 2015.

FRARI, R. V. D.; PEDROSO, C. A. Malhas computacionais para simulação numérica de escoamento de fluídos entre cilindros com excentricidade. **Anais. X Encontro Gaúcho de Educação Matemática**. Ijuí, RS. Junho, 2009. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/matematica/cd_egem/fscommand/CC/CC_59.pdf>. Acessado em: 29 jan. 2015.

GALHARDO, L.; OLIVEIRA, R. Bem-estar animal: um conceito legítimo para peixes? **Rev. etol.**, São Paulo, v. 8, n. 1, jun. 2006. Disponível em:<http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-28052006000100006&lng=pt&nrm=iso>. Acessado em: 29 Jan. 2015.

GONZALEZ K. MultiplicativeInverse: Definition, Property&Examples. **Study.com**. Highschool trigonometry: help and review. Math Courses. Website com roteiros de estudo. Disponível em: <<http://study.com/academy/lesson/multiplicative-inverse-definition-property-examples.html/>>. Acessado em: 19 de Jan. de 2016.

HUBBARD. Broiler management guide. Disponível em: <http://www.hubbardbreeders.com/media/hubbard_broiler_management_guide__078897700_0945_07012015.pdf>. Acessado em:21 de Jan. de 2016.

JOULES to watts calculator. Disponível em:
<http://www.rapidtables.com/calc/electric/Joule_to_Watt_Calculator.htm/>. Acessado em: 20 de Jan. de 2016.

JUSTI, G. H. Aplicação da fluidodinâmica computacional na avaliação da hidrodinâmica de estágio em colunas de destilação. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2012.

KACIRA, M et al. Effect of vent configuration and wind speed on three-dimensional temperature distributions in a naturally ventilated multi-span greenhouse by wind tunnel experiments. **Acta Horti**, [s.l.], v. 801, n. 1, p.393-401, Jan. 2008.

LIMA, K. A. O. Avaliação de sistemas de ventilação mecanizada por pressão positiva e negativa utilizados na avicultura de corte. 2011. 189 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2011.

MAIO J. P. S. **Desenvolvimento de um DataLogger baseado em um PenDrive USB**. 2010. 60f. Tese (Mestrado em Engenharia Electrónica) - Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Alveiro, Aveiro. 2010.

MALISKA, C.R., **Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional**. 2ª ed. Rio de Janeiro. LTC Editora. 2004.

MAZON, Ana Amélia Oliveira; SILVA, Rodolfo Gonçalves Oliveira da; SOUZA, Henor Artur de. Ventilação natural em galpões: o uso de lanternins nas coberturas. **Rev. Esc. Minas**, OuroPreto, v. 59, n. 2, Jun. 2006. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672006000200007&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 29 de Jan. de 2015.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672006000200007>.

MORAIS, E. L. **Verificações de soluções numéricas de escoamento laminares obtidas com o método dos volumes finitos e malhas não-estruturadas**. 2004. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004.

MOURA, N. R. **Simulação fluidodinâmica computacional de desempenho de um impelidor de um compressor centrífugo**. 2008. 229 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

NÄÄS, I. de A. et al. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, Ago. 2007. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162007000300001&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 10 jan. 2015.

NÄÄS, I.A. et al. Broiler surface temperature distribution of 42 day old chickens. **Scientia Agricola**, v.67, p.497-502, 2010.

NAZARENO, Aérica C. et al. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 13, n. 6, Dec. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662009000600020&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 10 de jan. de 2015.

NAZARENO, A. C. et al. Bem-estar na produção de frango de corte em diferentes sistemas de criação. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, Feb. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162011000100002&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 10 de jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000100002>.

NORTON, Tomás et al. Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modelling and design of ventilation systems in the agricultural industry: A review. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 98, n. 1, p.2386-2414, Jan. 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852406006092>>. Acesso em: 10 setemb. 2015

OLIVEIRA, R. F.; GALHARDO, L. Sobre a aplicação do conceito de bem-estar a peixes teleósteos e implicações para a piscicultura. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 36, supl. Jul. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982007001000009&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 25 jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007001000009>.

OLIVEIRA, R. F. M. de et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 797-803, Jun. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982006000300023&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 23 nov. 2016.

OWADA, A. N. et al. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, Dec. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162007000400003&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 10 jan. 2015.

OWADA, A. N. et al. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, Dez. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162007000400003&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 10 de jan. de 2015.

PAWAR, Sourabh R. et al. Contaminant Dispersion Within and Around Poultry Houses Using Computational Fluid Dynamics. In: OH, Hyoung Woo. **Computational Fluid Dynamics**. [s.l.]: Intech, 2010. p. 53-76. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/computational-fluid-dynamics/contaminant-dispersionwithin-and-around-poultry-houses-using-computational-fluid-dynamics&g>>. Acessado em 10 jan. 2015.

PAULINO, D., Tipos de Software - Você realmente sabe o que é um Software? , **Oficina da Net**, 2015. Disponível em: <http://www.oficinadanet.com.br/artigo/1908/tipos_de_software_-_voce_realmente_sabe_o_que_e_um_software>. Acessado em: 10 de jan. de 2015.

REDWINE, J. S. and LACEY, R. E. Concentration and emissions of ammonia and particulate matter in tunnel ventilated broiler houses under summer conditions in Texas. **ASAE Annual International Meeting**, Sacramento, California, USA, 2001.

RICHARDS, S.A. Evaporative water loss in domestic fowls and its partition in relation to ambient temperature. **Journal of Agricultural Science**, 1976, 87: 527-532.

RAGOTHAMAN, P.; GOKULAKRISHNAN V; ARJUN, A., Modeling and fabrication of a natural convection test rig for various fin geometries and heat transfer analysis on Nano coated fins". **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)**, Special Issue-3, 55-60. 2014.

RODRIGUES, V. C.; SILVA, I. J. O.; NASCIMENTO, S. T.; VIEIRA, F. M. C.; SANTOS, R. F. S. **Instalações avícolas do Estado de São Paulo - Brasil: os principais pontos críticos quanto ao bem-estar e conforto térmico animal**. Thesis (São Paulo. Online), v. 11, p. 24-30, 2009.

SATO, R. M. V.; AMAZONAS FILHO, E. D-loggerNet, Datalogger Distribuído para Dados Ambientais Monitorados e Controlados Remotamente. **Engenharia de Computação em Revista**, América do Norte, 2010.

SEO, Il-hwan et al. Modelling of internal environmental conditions in a full-scale commercial pig house containing animals. **Biosystems Engineering**, [s.l], v. 111, n. 1, p.91-106, Jan. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511011001966>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

DATA LOGGER de Temperatura, Umidade, Luz e 1 Canal analógico externo U12-012. **Sigma Sensors**. Website da marca de sensores. 2017. Disponível em: <<http://www.sigmasensors.com.br/produto/data-logger-de-temperatura-umidade-luz-e-um-canal-analogico-externo-u12-012.html>> Acessado em: 6 mar. 2017.

SILVA S. A. **Modelagem CFD de Explosões de Pós em Silos**. 2012. 121 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas) – Universidade Federal de Lavras. 2012.

SILVA, I.J.O.; SEVEGNANI, K.B. Ambiência e instalações na avicultura de postura. In: SILVA, I.J.O. (ed.) **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Jaboticabal: SBEA, 2001. v.2. p.150-214.

SOARES, R. F. **Estudo fluidodinâmico computacional (CFD) aplicado à aerodinâmica do esporte automobilístico**. 2013. 149 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Industrial Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

SUSLA, M. P. Amônia. **Dicionário Informal**. 14 jul. 2008. Disponível em: <<http://www.dicionarioinformal.com.br/significado/am%C3%B4nia/895/>>. Acessado em: 03 de Fev. 2015.

TANABE, Shin-ichi et al. Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics (CFD). **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 34, n. 6, p.637-646, July 2002.

TELEKEN, J. G. **Análise da fluído dinâmica do prato perfurado de uma unidade piloto de destilação**. 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

THERMAL conductivity, R-Valuesand U-Valuessimplified! **The Green Age**. 2016. Disponível em: <<http://www.thegreenage.co.uk/article/thermal-conductivity-r-values-and-u-values-simplified/>>. Acessado em: 19 de Jan. de 2016.

TINOCO, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 1, p.1-26, jan. 2001.

VIANNA JR, et al. CFD e a Defesa Química. **Revista Virtual de Química**, Universidade de São Paulo, v.6, n.3, 815-832, 16 de Março de 2014.

VILLELA, A. O que é o Auto Cad? **Oficina da Net**. Softwares. 2008. Disponível em: <http://www.oficinadanet.com.br/artigo/750/o_que_e_o_auto_cad>. Acessado em: 03 de Fev. de 2015.

VOLUMETRIC flowrate. **The calculator homepage**. Disponível em: <<http://www.calculator.org/property.aspx?name=volumetric+flowrate/>>. Acessado em: 19 de Jan. de 2016.

ZANUSSO, J. T. **Produção e dissipação de calor corporal**. S.d. Pelotas, 19 slides, color. Acompanha texto.