



A FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL UTILIZADA PARA MAPEAR O CONFORTO TÉRMICO DE SUÍNOS NA FASE DE MATERNIDADE

Beatriz Kenickel Nunes¹, Silvia Regina Lucas de Souza², Arilson José de Oliveira Júnior³, Eneidy Allan Rodrigues Cordeiro⁴ & Reginaldo Apolinário de Almeida⁵

RESUMO. As observações geradas em estudos sobre instalações de suínos têm demonstrado que o desempenho térmico das instalações comumente utilizadas pelos produtores vem apresentando um quadro de desconforto térmico na fase da maternidade, devido às adaptações construtivas feitas com a finalidade de atender tanto as necessidades da matriz quanto dos leitões. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi utilizar a ferramenta de fluidodinâmica computacional (CFD) para realizar o mapeamento do microambiente de duas instalações de suínos, visando o bem-estar dos animais. As simulações foram obtidas em uma maternidade da Fazenda Experimental Lageado, UNESP, Botucatu/SP e de uma granja comercial localizada em Santa Cruz do Rio Pardo/SP. Para as simulações utilizou-se o *software Autodesk® CFD Simulation* juntamente com o *AutoCAD 3D*, para desenho das instalações. As condições de conforto térmico foram analisadas por meio da aplicação do índice de voto médio estimado – *PMV*. Na instalação comercial simulada observou-se que as aberturas laterais não são suficientes para manter uma condição de conforto térmico, segundo o índice *PMV*. Com o uso da fluidodinâmica computacional foi possível modificar o ambiente mediante a elevação do seu fluxo de ar, o que demonstrou ser uma solução na diminuição da temperatura do ar e alcance de uma condição de conforto térmico.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto térmico, bem-estar de suínos, fluidodinâmica computacional, CFD, simuladores.

FLUIDODYNAMICS COMPUTATIONAL USED FOR THE MAPPING OF THERMAL CONDITIONS IN INSTALLATION OF SWINE MATERNITIES.

ABSTRACT: Studies have shown that the thermal performance of facilities commonly used by producers has presented an environmental discomfort picture in the maternity phase due to constructive adjustments made in order to meet needs of both piglets and sow. Therefore, this work aimed to use the computational fluid dynamic tool for mapping the microclimate of two facilities, which purpose of improving the animal welfare. The simulations were conducted at experimental farm “Lageado”, UNESP, Botucatu/SP and a commercial facility, located in Santa Cruz do Rio Pardo/SP. For simulations were used the *Autodesk® CFD Simulation software* along with *AutoCAD 3D* (facilities design). Thermal comfort conditions were analyzed by means of predicted mean vote – *PMV*. In simulated commercial facility was observed that side vents are not sufficient to establish a thermal comfort condition, according to *PMV*. With computational fluid dynamic was possible to change the environment through air flow increase, showing to be a solution in decrease of air temperature and reach of thermal comfort condition.

KEYWORDS: Thermal comfort, swine welfare, computational fluid dynamic, CFD, simulators.

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial da carne suína atingiu em 2013 cerca de 107 milhões de toneladas, sendo que 3% desse valor representa a produção interna do Brasil e 11% o volume das suas exportações. Com isso, houve uma

¹ Graduanda do curso de Engenharia Agrônoma, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu/SP. E-mail: bkenickel@gmail.com

² Docente do Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu/SP. E-mail: silvia.souza@fca.unesp.br

³ Doutorando do programa de Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu/SP. E-mail: arilsonjr@outlook.com

⁴ Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de

Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu/SP. E-mail: enedy_allan@yahoo.com.br

⁵ Mestrando do programa de Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu/SP. E-mail: regin.almeida@hotmail.com

crescente inserção internacional, fazendo com que o mesmo ocupe o quarto lugar entre os maiores produtores mundiais (WARDENSK, 2013). Sendo assim, a importância da suinocultura no setor do agronegócio, exige dos produtores constantes melhorias em suas instalações e conforto para os animais. Em um país tropical, como é o caso do Brasil, torna-se ainda maior o desafio em manter-se entre as primeiras colocações, pois ainda encontramos instalações inadequadas, o que acarreta prejuízo ao produtor e a falta de conforto térmico e bem-estar dos animais (GRANDIN & JOHNSON, 2010; SILVA, PANDORFI e PIEDADE, 2008; SOBESTIANSKY e ZANELLA, 2007). Como a prioridade dos animais é manter sua homeotermia, temperaturas fora da faixa de conforto térmico resultam em desvios da energia da produção para reter ou perder calor, o que implica em queda de produtividade. Segundo Rodrigues et al. (2009), problemas de ordem estrutural das instalações que venham proporcionar situações inadequadas de ventilação, renovação de ar, acúmulo de gases e carga térmica excedente, podem ser considerados fatores de risco, podendo apresentar uma instalação com pouco ou nenhum conforto térmico, distanciando-se assim os animais das condições de termoneutralidade. Segundo o mesmo autor, esta deficiência pode resultar em problemas de saúde dos animais e influenciar na qualidade final do produto. Além disso, em ambiente de criação animal podem-se encontrar partículas suspensas no ar que podem ser prejudiciais à saúde tanto do animal quanto do tratador. Esse ambiente pode ser avaliado sob diversos aspectos e enfoque, um deles seria o ar disponível nas proximidades do animal ou poluentes que potencializam infecções e doenças respiratórias causadas por agentes oportunistas. Atualmente, o emprego de sistemas de climatização está cada vez mais frequente na produção animal, cuja função é de manter um ambiente térmico adequado com a temperatura de conforto térmico que os animais exigem em determinadas fases da vida produtiva. Uma técnica que tem se mostrado bastante eficaz relacionada a este tipo de monitoramento, por permitir realizar estimativas do fluxo de ar em instalações, é o modelo de dispersão gasosa que se baseia em simulações matemáticas do comportamento de poluentes aéreos no meio atmosférico (NORTON et al., 2007). Estas simulações são chamadas de *Computational Fluid Dynamics* – CFD (WESSELING, 2001). Com as técnicas de modelagem em CFD é possível prever diversas situações para um mesmo problema mediante mudanças de parâmetros, verificação de resultados com diferentes condições de contorno e análise de riscos com rapidez e integridade (ELARRAT, 2006; WU e GEBREMEDHIN, 2001). Desta forma, é possível fazer um mapeamento tridimensional do ambiente aéreo de instalações e verificar onde há falhas no sistema de ventilação, otimizando a qualidade do ambiente de criação e diminuindo os impactos ambientais (GUERRA-CALDO et al., 2015; KWON et al., 2015; BUSTAMANTE et al., 2013; NORTON et al., 2013;). De acordo com Bjerg et al. (2000) e Sun et al. (2004), a aplicação do CFD vem sendo direcionados para a otimização das condições ambientais em instalações de produção de suínos. Esses estudos podem ser agrupados efetivamente numa

modelagem de dispersão dos poluentes aéreos e do ambiente térmico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área experimental

As coletas de dados foram realizadas em instalações de maternidade da Fazenda Experimental Lageado, UNESP, Botucatu/SP (22,51°S; 48,25°O) e de uma granja comercial em Santa Cruz do Rio Pardo/SP (22,89°S; 49,62°O).

A nomeação dos galpões das granjas em estudo foi determinada como sendo:

- G_1 – Granja Fazenda Experimental Lageado (granja experimental);
- G_2 – Granja de Santa Cruz do Rio Pardo (granja comercial).

2.2. Animais

A coleta de dados e avaliação das instalações foram realizadas para matrizes na fase de lactação e leitões.

2.3. Ambiente Térmico Interno

Utilizou-se como variáveis de entrada as medidas climáticas de temperatura de bulbo seco – T_a (°C), umidade relativa do ar – UR (%) e velocidade do vento – V_a ($m \cdot s^{-1}$). A obtenção dos dados de temperatura e umidade relativa do ar foram feitas por meio do *data logger* HOBO U10-003 (Figura 1). O *datalogger* HOBO U10-003 tem alcance de medição de -20 °C a 70 °C para medidas de temperatura do ar e de 25% a 95% para medidas de umidade relativa do ar, com uma acurácia de $\pm 0,53$ °C de 0° a 50 °C e de $\pm 3,5\%$ de 25% a 85%, respectivamente.



Figura 1 - *Data logger HOBO U10-003* (dimensões: 45x60x20mm)

As coletas das variáveis climáticas foram obtidas no centro geométrico de quadrantes estabelecidos de forma equidistante nos galpões G_1 e G_2 dispostos à 1,00m do piso, medidos e armazenados a cada 15 minutos, 24 horas ao dia. A velocidade do vento foi coletada manualmente alocado em cada quadrante utilizando-se um anemômetro digital *Instrutherm* AD-250, com escala de leitura de $0,4$ a $30,0 m \cdot s^{-1}$ (INSTRUTHERM, 2017).

2.4. Modelagem numérica

Observou-se a necessidade de conhecer a taxa de ventilação através dos fluxos de turbulência e as taxas de transferência de calor, que por sua vez, foram facilitadas pelo uso computacional. Utilizando-se de volumes finitos, foi discretizado o campo do fluxo segundo as recomendações de Maliska (2004), onde foram simuladas as distribuições de escoamento em estruturas com ventilação forçada no modelo estudado.

O modelo matemático levou em conta a conservação de massa, continuidade e energia. A equação generalizada desenvolvida por Maliska (2004) foi adaptada e utilizada para este estudo, conforme Eq.1.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\phi) \\ = \frac{\partial}{\partial x}\left(r^\phi \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(r^\phi \frac{\partial \phi}{\partial y}\right) \\ + \frac{\partial}{\partial z}\left(r^\phi \frac{\partial \phi}{\partial z}\right) + S^\phi \end{aligned} \quad \text{Eq.1}$$

A Tabela 1 apresenta os termos da equação generalizada.

Tabela 1 - Termos da equação generalizada

Equação	Termo
$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi)$	Temporal
$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\phi)$	Convectivo
$\frac{\partial}{\partial x}\left(r^\phi \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(r^\phi \frac{\partial \phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(r^\phi \frac{\partial \phi}{\partial z}\right)$	Difusivo
S^ϕ	Fonte

As equações de conservação possuem natureza diferencial, porém para resolvê-la, foi necessário discretizar essas equações no espaço Δx , Δy e Δz , e no tempo Δt . O método de discretização para este estudo foi o de volumes finitos, que partiu da integração formal das equações de transporte que reagiram com o escoamento de fluido em todos os volumes de controle obtidos pela discretização do domínio.

2.5. Preparação de software para simulação

Uma simulação em forma de teste foi realizada a fim de ajustar o software utilizado na modelagem dos ambientes.

As configurações aplicadas no ambiente simulado em forma de teste, juntamente com a forma de análise dos resultados observados, foram empregadas nas

simulações dados reais dos ambientes G_1 e G_2 , sendo executados os devidos ajustes conforme as características específicas de cada ambiente.

2.6. Processo de modelagem e simulação

Inicialmente foi realizada a obtenção da estimativa dos parâmetros e condições de contorno relevantes à simulação, que neste caso, foi a geometria do galpão simulado.

Foram levados em consideração também a entrada e a saída do ar dos galpões. Para este estudo, optou-se pela utilização do recurso de fluidodinâmica computacional, através do software Autodesk® CFD Simulation, que utiliza um conjunto de técnicas matemáticas, numéricas e computacionais usadas para o estudo preditivo (qualitativo e quantitativo) de fenômenos que envolvem o escoamento de fluidos (AUTODESK CFD, 2017).

Para que esse escoamento fosse representado numericamente mediante simulação computacional, foi necessário utilizar as informações do tipo:

- Geometria: forma e tamanho do domínio, entradas e saídas de massa do sistema;
- Propriedades dos fluidos: temperatura, densidade e viscosidade;
- Condições de contorno.

Para efetuar os desenhos dos galpões e transferi-los ao Autodesk® CFD Simulation, utilizou-se o programa AutoCAD 3D (AUTODESK 3D CAD, 2017).

Como forma de avaliar as condições de conforto térmico o software AutoCAD 3D faz uso do índice de voto médio estimado – PVM (Predicted Mean Vote), Eq.2 (ISO, 1994).

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) \times L \quad (2)$$

Em que:

PMV: Voto médio estimado

M: Atividade desempenhada pelo indivíduo

L: Carga térmica atuante sobre o corpo

A determinação da sensação térmica foi realizada mediante a escala sétima da ASHRAE, que tem como limites as condições de muito frio (-3) a muito quente (+3), conforme Tabela 2 (ISO, 1994).

Tabela 2 - Escala de valores de Voto Médio Estimado – PMV (Predicted Mean Vote)

Valor	Sensação
-3	Muito frio
-2	Frio
-1	Levemente Frio
0	Neutro
+1	Levemente quente
+2	Quente
+3	Muito Quente

Para a simulação dos gases foi utilizada a função de *Scalar Mixing*, responsável por realizar a mistura de fluidos a partir da sua densidade, definindo como **0** o primeiro fluido e **1** o segundo fluido, por exemplo. A simulação foi exibida em uma escala de **0** a **1**, o qual representou o fluido predominante.

2.7. Fluxograma do modelo utilizado

Modelo utilizado para os cenários do galpão simulado (Figura 2).

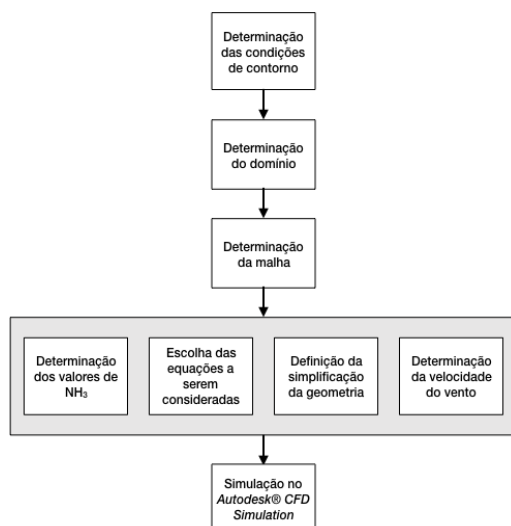


Figura 2 - Fluxograma do modelo utilizado

2.8. Geometria dos galpões

Ambas as salas, G_1 e G_2 , tiveram suas geometrias simplificadas e modeladas como um paralelepípedo. As Figura 3 e 4 apresentam as dimensões do G_1 e G_2 .

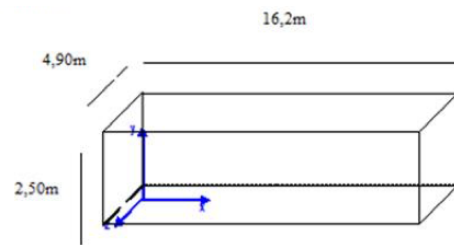


Figura 3 - Geometria da sala de maternidade G_1 (dimensões: 16,2 m x 4,9 m x 2,50 m)

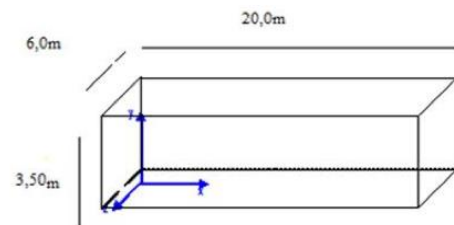


Figura 4 - Geometria da sala de maternidade G_2 (dimensões: 20,0 m x 6,0 m x 3,50 m)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Previamente à simulação do galpão real G_1 foram feitos testes com o programa computacional Autodesk® *CFD Simulation* a uma temperatura do ar de 34 °C velocidade do vento de $1,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ nas laterais da instalação simulada. Essa definição de temperatura foi escolhida como o maior valor de temperatura na simulação, visto que a necessidade dos animais dentro da instalação varia de acordo com a idade, pois o conforto térmico das matrizes considerada como ideais devem ser de 16 a 21 °C e de 32 a 34 °C para os leitões (PERDOMO et al., 1987). Algumas condições de contorno foram definidas, tais como a diferença de temperatura $W \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, que foi realizada através do cálculo do *film coefficient* e da transmitância térmica, também conhecida como *U-Value*, sendo esta a média da taxa de perda de calor de um componente de construção. Outro cálculo necessário para a simulação foi o de *volume flow rate* (Q) – média do volume de fluido que passa em um ponto do sistema por unidade de tempo – calculado pelo produto da área da secção transversal (A) e a velocidade média do fluxo (v). Considera-se $Q = A \times v$ como sendo o *volume flow rate* que flui através de uma determinada área de secção transversal por segundo. O último cálculo realizado foi para determinar o *total heat generation*, sendo este o total de calor gerado dentro da instalação. Foi considerado o galpão vazio para as simulações, a fim de realizar apenas o ajuste do *software*. Após a adaptação do programa para a sala de maternidade da Fazenda Experimental Lageado (G_1), UNESP, Botucatu/SP, utilizou-se novamente o programa *AutoCAD3D* para confecção do galpão real. A simulação feita no Autodesk® *CFD Simulation* seguiu as mesmas metodologias descritas anteriormente na instalação de teste. Utilizaram-se os mesmos cálculos, equações, condições de contorno e geração de malha. Os fatores que diferem a maternidade de teste da

maternidade real foram as condições de contorno, sendo estas a espessura dos materiais utilizados, a velocidade do vento gerado pela pressão positiva dos ventiladores, as temperaturas e medidas do galpão, desconsiderando as baias e os animais presentes no galpão, conforme foram apresentadas nas Figuras de 5 à 10.

3.1. Construção do galpão tridimensional

A Figura 5 apresenta a sala de maternidade G_1 criada por meio do software *AutoCAD3D*, para melhor visualização do galpão.

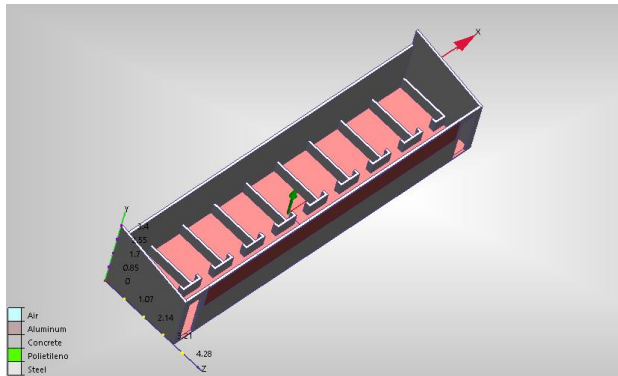


Figura 5 - Sala de maternidade G_1

3.2. Simulação do G_1

Foi definido para os testes com o programa uma temperatura de 28°C e uma velocidade do vento de $1,9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ nas laterais da instalação simulada. Essa definição de temperatura foi escolhida a partir da média das temperaturas medidas na maternidade. Os materiais aplicados no sistema foram: Ar de entrada e saída do galpão, Alumínio do telhado, Concreto das paredes e pisos, Polietileno das cortinas e Aço da estrutura do galpão e portas. As condições de contorno foram calculadas através do *Film Coefficient*, *U-Value*, o *Volume Flow Rate (Q)*, o volume *Flow Rate* e o cálculo para determinar o *Total Heat Geration*, sendo utilizados da mesma forma, somente substituindo-se para os valores de coleta. Na Figura 6 observa-se as condições de contorno que foram criadas para a sala de maternidade.

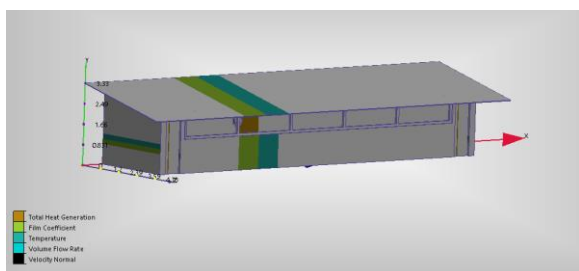


Figura 6 - Condições de contorno para a sala de maternidade do G_1

3.3. Simulação do conforto térmico – G_1

Foram definidas as seguintes condições de contorno para o G_1 :

- Total de geração de calor de $7,1\text{ W}$;
- Coeficiente da camada de $0,2\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$;
- Temperatura: 28°C ;
- Taxa de fluxo do volume de $0,333\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$;
- Velocidade do vento nas laterais de $1,4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;

Velocidade do vento dos ventiladores de $1,9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (pressão positiva). Nesta condição, simulou-se a maternidade com as cortinas fechadas, ou seja, levando em consideração a ação direta da pressão positiva exercida pelo ventilador presente. Foi necessário utilizar o voto médio estimado – *PMV (Predicted Mean Vote)* para comparar os valores encontrados dentro da escala térmica de conforto para animais. A Figura 7 exhibe a simulação do galpão com uma temperatura média de 28°C . Esta foi a temperatura mais alta coletada no período para que se pudesse obter uma real situação durante a temperatura mais elevada, tendo em vista que na cidade de Botucatu/SP as temperaturas são mais amenas que as outras cidades da região.

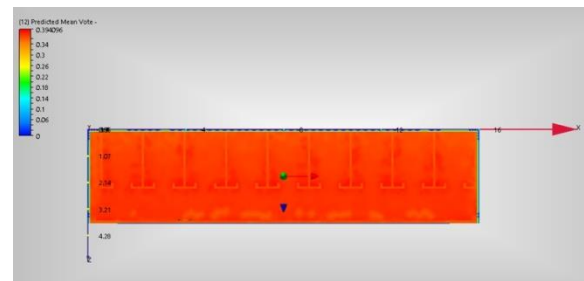


Figura 7 - Voto médio estimado (*PMV*) em galpão simulado G_1

Utilizando-se a escala do *PMV* fornecido pelo software foi possível identificar que as entradas de ar pelas portas e pelo ventilador foram suficientes para manter a condição ambiental dentro dos padrões, porém, foi importante observar que os valores encontrados estavam próximos do limite aceitável pela escala *PMV* em comparação, o que permite apontar uma necessidade de melhoria nas instalações (Figura 8). Observou-se que a escala de cores apresentou uma concentração de tons de laranja e vermelho que estão entre $0,34$ e $0,39$. Percebe-se que os menores valores da escala se encontram próximos às regiões que circulam maior quantidade de ar. Os valores encontram-se dentro da escala *PMV*, que estão entre $-0,5$ e $+0,5$.

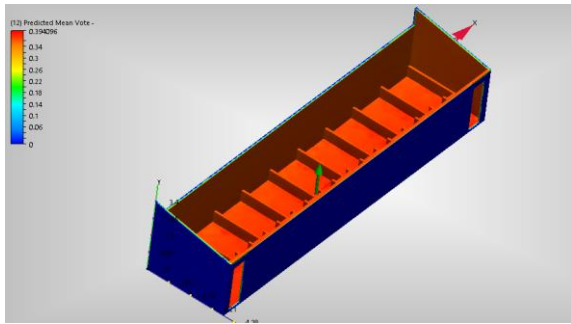


Figura 8 - Cálculo de voto médio estimado (PMV) para galpão simulado G_1

3.4. Simulação do conforto térmico – G_2

Para o galpão comercial G_2 foram realizadas simulações com os dados reais obtidos e com dados simulados de conforto, tornando possível a obtenção de dois cenários: real e ideal. As baías foram desconsideradas nesse galpão, pois ao definir a quantidade gerada de W em cada boxe e realizar a simulação observou-se que seria necessário um computador com alto poder de processamento para suprir as necessidades da simulação, não sendo possível a realização da simulação de cada boxe. Desta forma, foi considerada a quantidade de W gerado pelo galpão sem os suínos. As seguintes condições de conforto foram definidas para G_2 :

- Total de geração de calor de 7,6 W;
- Coeficiente da camada de 0,122 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$;
- Temperatura: 33 °C;
- Velocidade do vento nas laterais de 1,0 $m \cdot s^{-1}$;

Nesta condição simulou-se a maternidade com as cortinas abertas, ou seja, levando em consideração a ação direta exercida pelo vento natural. A Figura 9 apresenta a simulação do galpão G_2 com uma temperatura média 33 °C, a qual foi a máxima medida no período de Outubro/Novembro, com uma velocidade do vento de 1,0 $m \cdot s^{-1}$.

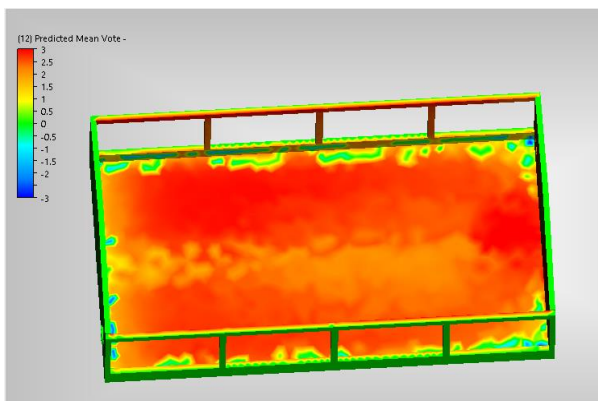


Figura 9 - Voto médio estimado (PMV) em galpão simulado G_2

O galpão não se mostrou adequado dentro dos limites aceitáveis segundo o índice PMV , observando que as condições instaladas podem ser melhoradas. Percebe-se

que as regiões em que o fluxo de ar é maior, perto das aberturas laterais, por exemplo, a simulação expressou tonalidades mais claras, o que demonstra que nesses locais o clima estava mais agradável para os animais.

Nota-se que o galpão se encontra inadequado para o bem-estar das matrizes, já que as baías se localizam no centro do galpão, local onde concentra-se as temperaturas mais elevadas. Por meio da escala do índice PMV fornecido pelo *software*, foi possível identificar através da Figura 9 que as entradas de ar pelas aberturas laterais não foram suficientes para estabelecer uma condição de conforto térmico. Identificou-se que os valores encontrados estão longe do limite aceitável pela escala PMV . Também se observa uma concentração de tons vermelho e amarelo no centro do galpão – índice PMV entre +2 (Quente) e +3 (Muito quente) – valores fora da escala de conforto (-0,5 e +0,5).

3.5. Simulação para mitigação – G_2

Visto que o ambiente G_2 apresentou condições de desconforto térmico com valores superiores à escala aceitável pelo índice PMV , foi realizada uma simulação para mitigação das condições climáticas do galpão. No ambiente simulado para mitigação optou-se por manter a temperatura do ar entre os 33 °C e aumentar o fluxo de ar dentro do galpão, mediante adição de taxa de fluxo do volume de 0,333 $m^3 \cdot s^{-1}$. Para este cenário simulou-se à instalação de ventiladores nos dois lados do galpão. A Figura 10 mostra o voto médio estimado na simulação para mitigação do galpão G_2 .

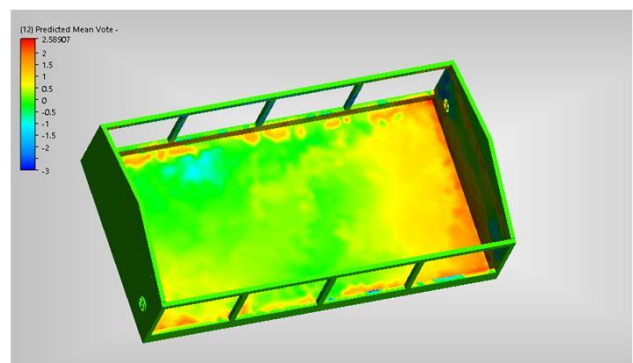


Figura 10 - Voto médio estimado (PMV) em galpão simulado para mitigação de G_2

A simulação para mitigação, em que manteve-se a temperatura do ar e elevou-se o fluxo de ar no G_2 , apresentou resultados satisfatórios. De acordo com a escala do PMV em grande parte as condições no ambiente mitigado apresentaram-se próximas ao conforto térmico. Tais condições foram obtidas mediante à adição de um ventilador alcançando-se a simulação para mitigação, em que manteve-se a temperatura do ar e elevou-se o fluxo de ar no G_2 , apresentou resultados satisfatórios. De acordo com a escala do PMV em grande parte as condições no ambiente mitigado apresentaram-se próximas ao conforto térmico. Tais condições foram obtidas mediante à adição de um ventilador alcançando-

se uma velocidade do vento de $1,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Vale ressaltar que as cortinas foram mantidas abertas a fim de favorecer o fluxo de ar dentro do galpão.

Nota-se, por meio da Figura 10, uma melhora significativa de conforto no galpão G_2 . A coloração no centro do ambiente simulado para mitigação apresentada tons de verde e amarelo, que estão dentro da escala permitida segundo o *PMV* ($-0,5$ e $+0,5$). Há um pequeno local próximo as paredes à direita da vista superior do galpão mitigado com tonalidades de vermelho, o que indica valores de *PMV* entre $+1$ e $+2$, sendo este um local mais quente. Nesse caso, sugere-se a inserção de mais um ventilador nessa região do G_2 .

4 CONCLUSÕES

- O galpão G_1 apresentou-se dentro dos limites aceitáveis pela escala *PMV*, porém observa-se que as condições instaladas podem ser melhoradas. As regiões em que o fluxo de ar é maior, perto das portas e dos ventiladores, a simulação expressou tonalidades mais claras, o que demonstra que nesses locais o clima estava mais agradável para os animais.

- Na simulação do G_2 observou-se que as aberturas laterais não são suficientes para manter uma condição de conforto térmico, segundo o *PMV*. O que permite identificar um ambiente insalubre para as matrizes. O aumento do fluxo de ar em G_2 demonstrou ser uma solução na diminuição da temperatura do ar e alcance de uma condição de conforto térmico, segundo o *PMV*.

- As simulações realizadas por meio da técnica de fluidodinâmica computacional demonstraram-se eficientes no mapeamento de condições térmicas nos ambientes G_1 e G_2 , principalmente devido à capacidade de se modificar propriedades climáticas e construtivas das instalações, visando o bem-estar das matrizes.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, pela concessão da bolsa de estudos, processo 2015/16181-0

6 REFERÊNCIAS

AUTODESK CFD. Computational Fluid Dynamics Software. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/products/cfd/overview>>. Acesso em: 29 jun 2017.

AUTODESK 3D CAD. 3D CAD Software. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/solutions/3d-cad-software>>. Acesso em: 29 jun 2017.

BJERG, B., SVIDT, K., ZHANG, G., MORSING, S.; The effect of pen partitions and thermal pig simulators

on airflow in a livestock test room. Journal of Agricultural Engineering Research 77, p.317–326, 2000.

BUSTAMANTE, E.; GARCÍA-DIEGO, F-J.; CALVET, S.; TORRES, A. G.; HOSPITALER, A. Measurement and Numerical Simulation of Air Velocity in a Tunnel Ventilated Broiler House. Sustainability, v. 7, n. 2, p. 2066-2085, 2015.

ELARRAT, I. F. Dispersão de gases e CFD. Rio de Janeiro. 2006.

GRANDIN, T.; JOHNSON, C. O bem-estar dos animais – Proposta de uma vida melhor para todos os bichos. São Paulo: Rocco, 2010. 334p.

INSTRUTHERM. Anemômetro Digital AD-250. Disponível em: <<https://www.instrutherm.net.br/anemometro-digital-portatil-escala-0-4-a-30-0-m-s-mod-ad-250.html>>. Acesso em: 29 jun 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7730: Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva: Iso, 1994.

KWON, K-S. LEE, I-B; ZHANG, G. Q.; HA, T. Computational fluid dynamics analysis of the thermal distribution of animal occupied zones using the jet-drop-distance concept in a mechanically ventilated broiler house. Biosystems Engineering, v. 136, p.51-68, 2015.

MALISKA, C.R., Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional. Segunda Edição. Rio de Janeiro. LTC Editora. 2004.

NORTON, T.; SUN, D-W.; GRANT, J.; FALLON, R.; DODD, V. 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. 1, p.2386-2414, Jan. 2007.

NORTON, T.; KETTLEWELL, P.; MITCHELL, M. A computational analysis of a fullystocked dual-mode ventilated livestock vehicle during ferry transportation. Computers and Electronics in Agriculture, v. 93, n. 1, p.217-228, abr. 2013.

PERDOMO, C.C.; SOBESTIANSKY, J.; OLIVEIRA, P.V.A. et al. Efeito de diferentes sistemas de aquecimento no desempenho de leitões. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1987. p.1- 3. (Comunicado Técnico, 122).

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.

SILVA, I. J. O.; PANDORFI, H.; PIEDADE, S. M. S. Influência do sistema de alojamento no comportamento e bem-estar de matrizes suínas em gestação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.7, p.1319-1329, 2008.

SOBESTIANSKY, J.; ZANELLA, J.R.C. Formas anormais de comportamento. In: SOBESTIANSKY, J.; BARCELLOS, D.E.S.N. (Org.). *Doenças dos suínos*. Goiânia: Cânone Editorial, 2007. p.579-592.

SUN, S.H., KEENER, H., WEI DENG, R., MICHEL, F.C. Development and Validation of 3-D CFD Models to Simulate Airflow and Ammonia Distribution in a High-Rise™ Hog Building during Summer and Winter Conditions. 2004.

WARDENSK, G. E. *Suinocultura – Análise da Conjuntura Agropecuária 2013*. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br>. Acesso em 2 jun 2015.

WU, B.; GEBREMEDHIN, K. G. CFD development and simulation of flow fields in ventilated spaces with multiple occupants. *Transactions of the ASAE*, v. 44, n. 6, p.1839- 1850, 2001.

WESSELING, P.; *Principles of Computational Fluid Dynamics*, in: *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2001.