



Variabilidade espacial do ambiente térmico e da iluminação em instalação para frangos de corte em região semiárida

Otoniel Cajuí BONFIM¹, Magno do Nascimento AMORIM^{*2}, Silvia Helena Nogueira TURCO¹,
Pablo Teixeira Leal de OLIVEIRA³, Indira Cristiane Moreira GONÇALVES⁴,
Luana Carolina Rocha QUEIROZ¹, Luana Barbosa Freire de FIGUEIREDO¹

¹ Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA, Brasil.

² Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.

³ Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Petrolina, PE, Brasil.

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Bom Jesus da Lapa, BA, Brasil.

*E-mail: magnoamorim@usp.br

Submetido em: 15/04/2024; Aceito em: 21/10/2024; Publicado em: 12/11/2024.

RESUMO: O ambiente térmico das instalações para produção de frangos pode ser influenciado por técnicas construtivas, região, clima e orientação, sendo que as suas variações afetam diretamente a produtividade. O objetivo foi avaliar a variabilidade espacial do ambiente térmico e da iluminação em uma instalação para frangos de corte comercial localizada em região semiárida e com orientação Leste-Oeste. Foram medidos os parâmetros ambientais (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do ar e iluminação) e os índices térmicos (Entalpia, Índice de Temperatura e Umidade, e Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade), com pontos espaçados de 1,0 x 1,0 m, no inverno e verão, em dois horários (9 e 15 horas). A análise ocorreu através da geoestatística e de mapas de krigagem. A instalação apresentou um ambiente causador de desconforto térmico, o que pode desfavorecer a produção de frango de corte, principalmente no período da tarde, em que as condições climáticas afetaram diretamente o seu interior. Portanto, para garantir boas condições para a produção, são necessárias medidas como a inserção de ventilação forçada, a nebulização ou utilização de resfriamento adiabático, a pintura do telhado com cores capazes de refletir parte da radiação solar, o aumento dos beirais para evitar a incidência direta da radiação no interior da instalação, o aumento do pé-direito e a arborização no entorno de modo a condicionar o microclima nas proximidades do galpão.

Palavras-chave: avíario; conforto térmico; geoestatística; melhoria térmica; técnicas construtivas.

Spatial variability of the thermal environment and lighting in a facility for broiler chickens in a semi-arid region

ABSTRACT: The thermal environment of poultry production facilities can be influenced by construction techniques, region, climate, and orientation, and these variations directly affect productivity. The objective was to evaluate the spatial variability of the thermal environment and lighting in a commercial broiler facility located in a semi-arid region with an East-West orientation. Environmental parameters (temperature, relative humidity, air velocity, and lighting) and thermal indices (Enthalpy, Temperature and Humidity Index, and Black Globe Temperature and Humidity Index) were measured at points spaced 1.0 x 1.0 m apart during winter and summer, at two times (9 a.m. and 3 p.m.). The analysis was conducted using geostatistics and kriging maps. The facility exhibited an environment that caused thermal discomfort, which could hinder broiler production, especially in the afternoon when climatic conditions directly affected the interior. Therefore, to ensure favorable production conditions, measures such as the insertion of forced ventilation, misting or adiabatic cooling, painting the roof with colors capable of reflecting part of the solar radiation, increasing eaves to prevent direct radiation from entering the facility, increasing ceiling height, and planting trees around the facility to condition the microclimate near the barn are necessary.

Keywords: poultry house; thermal comfort; geostatistics; thermal improvement; construction techniques.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Kheiraliipour et al. (2024), com o crescimento da população mundial, serão necessárias práticas de manejo adequadas para a produção avícola, principalmente porque esse setor produtivo vem apresentando rápida taxa de crescimento e sistemas de produção comercial altamente intensivos de frangos de corte (TAINIKA et al., 2023).

De acordo com Nkukwana (2018) a carne dessa ave é a maior fonte de proteína animal na dieta humana em todo

mundo. Diante do baixo custo e da elevada qualidade nutricional a carne de frango é muito consumida no Brasil, o que fortalece o mercado produtor nacional (SANTOS et al., 2022). Segundo a ABPA (2020), o nordeste brasileiro cresceu no mercado de produção de frangos de corte nos últimos anos, com destaque devido às características que favorecem seu potencial produtivo, como a baixa amplitude térmica e pluviosidade, além da disponibilidade da mão de obra e melhorias na aquisição de tecnologias aplicadas.

Entretanto, em função do clima regional, surgem preocupações relacionadas ao condicionamento térmico das aves nas instalações onde são confinadas e manejadas. É comprovado que as aves necessitam de condições mínimas de conforto para desenvolver seu comportamento natural (BRANCO et al., 2021). Nessa perspectiva, o conforto térmico das aves está associado a temperaturas adequadas dentro de faixas específicas, promovendo melhores desempenhos produtivos (SAEED et al., 2019).

Sarnighausen et al. (2024) destacam o aumento progressivo da carga térmica ambiental ao longo dos anos, o que acende um alerta para os sistemas de produção avícola, devido à maior incidência de estresse térmico causado pelo calor. De acordo com Fournel et al. (2017), eventos de estresse térmico podem causar redução de desempenho, morbidade e mortalidade em animais de produção, o que resulta em perdas econômicas significativas.

Nesse contexto, as instalações desses animais englobam ambientes físicos, químicos, biológicos e climáticos que interferem no crescimento, desenvolvimento e produtividade. Os elementos climáticos que compõe o ambiente térmico animal, compreendido pela umidade relativa, temperatura, movimentação do ar e radiação, provocam ações diretas e indiretas sobre os animais, afetando o desempenho produtivo, reprodutivo e comportamental (BAÊTA; SOUZA, 2010).

Com a importância que a avicultura comercial de corte tem no Brasil e na sua região Nordeste, estudos sobre o ambiente das instalações zootécnicas vêm crescendo e disponibilizando conhecimento para melhorias no meio produtivo. Dentre as características do ambiente estudadas para melhorar o desempenho de frangos comerciais de corte, destacam-se os fatores ambientais e externos como qualidade do ar, temperatura, umidade relativa e a luminosidade (SILVA; VIEIRA, 2010).

Utilizando técnicas e pesquisas, como exemplo geoestatística e krigagem, é possível entender a distribuição espacial das variáveis ambientais dentro das instalações avícolas. Esses estudos podem possibilitar a incorporação de informações na tomada de decisão por parte dos produtores, auxiliando para melhoraria do bem-estar das aves, e consequentemente, aumentando a produção (FAUSTINO et al., 2021).

Neste contexto, esse estudo apresenta as características do ambiente em instalações comerciais de frango de corte em região semiárida, com o intuito de possibilitar propostas de mitigação relacionada ao conforto e ambiente térmico nessas instalações. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a variabilidade espacial do ambiente térmico e da iluminação em instalação comercial de frangos de corte, na região Semiárida no Nordeste brasileiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e épocas do experimento

O experimento foi conduzido em um galpão destinado a criação de frangos de corte, localizado em Petrolina - PE, nas coordenadas 09°09'9"S e 40°22'0"E, a uma altitude média de 365 m. Pela classificação de Köppen-Geiger, o clima regional é do tipo seco e quente, sendo que a Figura 1 ilustra a normal climatológica da cidade. O estudo foi realizado sem a presença de animais, em duas épocas distintas: a primeira nos meses de junho e julho de 2019 (inverno), e a segunda fevereiro de 2020 (verão).

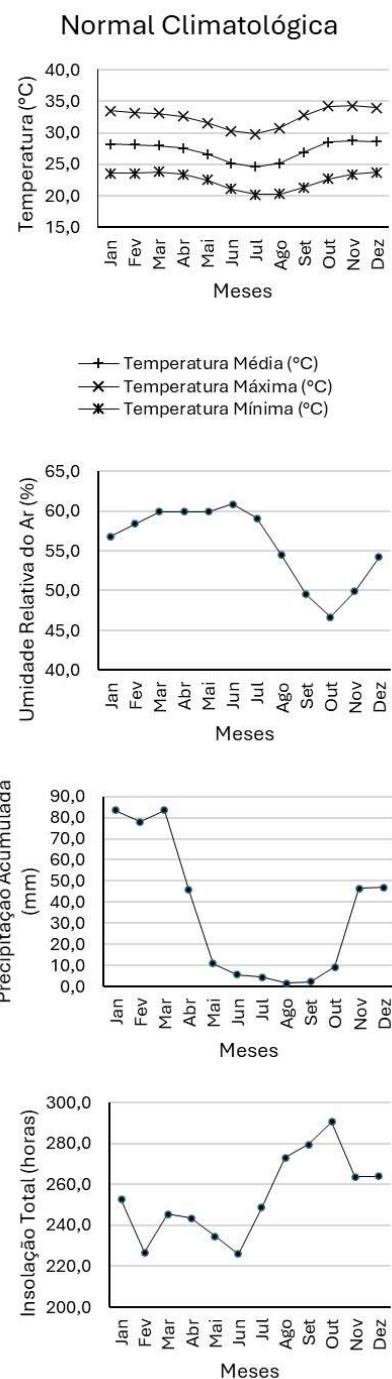


Figura 1. Normal climatológica (1991-2020) da cidade de Petrolina.
Figure 1. Climatological normal (1991-2020) of the city of Petrolina.

2.2. Características da instalação

A instalação (Figura 2) possuía as seguintes características construtivas: orientação Leste-Oeste, piso concretado, cobertura com estrutura de madeira e telha cerâmica colonial vermelha (46 x 18 cm) com inclinação de 30%, pé-direito de 2,5 m, lanternim no telhado com 1,0 m de largura e beiral de 0,5 m. O galpão era dividido em três alas, duas delas possuindo laterais abertas nas fachadas norte e sul, as quais eram teladas e muradas com alvenaria em 0,65 m. Além disto, apresentava largura de 8,0 m, comprimento de 32,0 m e uma área total de 256 m².



Figura 2. Vista geral externa com a fachada norte (a) e o interior (b) da instalação.

Figure 2. General exterior view of the north facade (a) and interior (b) of the aviary.

2.3. Procedimento experimental

Em cada período experimental (inverno e verão), ocorreram três dias de avaliação em dois horários distintos, as 09h00min e 15h00min no horário local. Os parâmetros ambientais avaliados foram: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar, temperatura de globo negro e iluminância. Estes dados foram coletados a 1,5m de altura em 135 pontos equidistantes na instalação, de 1,0 x 1,0 m, através de instrumentos de precisão, os quais formaram uma malha cartesiana.

A velocidade do ar foi mensurada usando o termoanemômetro de fio quente, modelo Tafr 190 (Instruthemp) ($\pm 5\%$ + 1d e $\pm 1^\circ\text{C}/1,8^\circ\text{F}$). Para umidade relativa do ar ($\pm 3\%$, 10~90%RH), temperatura do ar e temperatura de globo negro [$\pm 1^\circ\text{C}$ (15~40°C)], foi utilizado o aparelho medidor de IBUTG de modelo ITWTG-2000 Termômetro de Globo (Instruthemp). Os níveis de iluminação foram coletados por meio de luxímetro digital Led com ($\pm 3\%$), modelo LD-550. Para a obtenção das leituras em lux, posicionou-se a base da fotocélula num plano horizontal nivelado na altura de 1,5 m do local a ser analisado. As leituras de ambos os equipamentos foram coletadas simultaneamente em cada ponto. No entanto, as medições subsequentes dos demais pontos ocorreram em intervalos curtos, de modo que os 135 pontos foram coletados em aproximadamente 30 minutos.

2.4. Determinação dos índices de conforto

Através dos dados micrometeorológicos obtidos, foram calculados os seguintes índices de conforto térmico: o Índice

de Temperatura e Umidade – ITU – (Equação 1), proposto por Thom (1959); o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade – ITGU – (Equação 2), proposto por Buffington et al. (1981); e a variável termodinâmica Entalpia – H – (Equação 3), proposta Rodrigues et al. (2011).

$$\text{ITU} = T + 0,36\text{Tpo} + 41,5 \quad (01)$$

em que: ITU= Índice de Temperatura e Umidade; T = Temperatura do ar (°C); Tpo = Temperatura do ponto de orvalho (°C).

$$\text{ITGU} = \text{Tg} + 0,36\text{Tpo} + 41,5 \quad (02)$$

em que: ITGU= Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade; Tg = Temperatura de globo negro (°C); Tpo = Temperatura do ponto de orvalho (°C).

$$H = 1,006 \cdot T + \frac{\text{UR}}{\text{PB}} 10^{\left(\frac{7,5T}{237,3+T}\right)} \cdot (71,28 + 0,052T) \quad (03)$$

em que: H= Entalpia (kJ.kg⁻¹ ar seco⁻¹); T= Temperatura do ar (°C); UR= Umidade Relativa do ar (%); PB= Pressão barométrica local (mmHg).

2.5. Geoestatística das variáveis climáticas e dos índices de conforto

Foi realizada a análise geoestatística para as variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar, temperatura de globo negro e iluminância, durante os três dias, em cada período experimental, nos dois horários distintos, às 09h00min e 15h00min em toda a área interna do galpão estudado. Para o levantamento dos parâmetros estudados, foi traçado um plano cartesiano e a partir deste, delimitados o ponto para as coletas dos dados referentes a cada variável. Utilizou-se uma única ala para avaliação dos parâmetros ambientais, esta, por sua vez, possuía as seguintes dimensões: 8 m de largura, 14 m de comprimento, área total de 112 m². A cada 1 m foi marcado um ponto no piso da instalação, formando, assim uma malha regular de 1 m x 1 m (Figura 3).

A partir dessa malha, foi realizada uma avaliação da variabilidade espacial das condições térmicas da edificação a uma altura de 1,5 m do piso, a fim de verificar se a instalação oferecia o microclima mais favorável ao acondicionamento dos animais.



Figura 3. Vista da localização geográfica e distribuição dos pontos no interior da instalação.

2.6. Análise estatística descritiva

Para esta etapa utilizou-se a análise estatística descritiva básica, considerando dois horários de avaliação 09h00min e 15h00min e duas estações do ano (inverno e verão). Para análise da variância dos dados foram considerados os critérios de classificação de Warrick; Nielsen, (1980), de baixa variabilidade para C.V. < 12%, média variabilidade para 12% ≤ C.V. ≤ 62% e alta variabilidade para C.V. > 62%. A dependência espacial foi avaliada pela análise de semivariogramas ajustados pelo software GS+7.0 (2007) utilizando o semivariograma clássico de Matheron, que é dado pela Equação 4.

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (04)$$

em que: N(h) o número de pares de valores amostrados Z(xi), Z(xi + h), separados por um vetor h. O gráfico de $\gamma^*(h)$ em função dos valores correspondentes de h, chamado semivariograma, é uma função do vetor h e, portanto, depende exclusivamente da distância h.

As variáveis estudadas foram ajustadas aos modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano. A escolha desses modelos foi em relação ao coeficiente de determinação (R^2), sendo considerado o valor ideal àquele que mais se aproxima de 1. De acordo com Isaaks; Srivastava, (1989), os modelos de semivariogramas são transitórios, ou seja, possuem um patamar, o qual é determinado a partir de um valor de distância entre as amostras, não havendo mais dependência espacial.

O efeito pepita (C_0) é um parâmetro importante na variabilidade espacial, pois ele indica a variabilidade dos dados através da distância de amostragem utilizada. Além disso, para a possível quantificação desses erros, o efeito pepita pode ser expresso como um percentual do patamar (C_0+C_1), favorecendo na melhor comparação do índice de dependência espacial das variáveis estudadas (Ferraz et al., 2016).

Após o cálculo das semivariâncias, foram ajustados semivariogramas pelas equações: Esférico (5), Exponencial (6) e Gaussiano (7) (Lundgren et al., 2015).

$$C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right]; 0 < h < a \quad (05)$$

$$C_0 + C_1 \left[1 - \exp \left(-3 \frac{h}{a} \right) \right]; a < h < d \quad (06)$$

$$C_0 + C_1 \left[1 - \exp \left(-3 \frac{h}{a} \right)^2 \right]; a < h < d \quad (07)$$

em que: C_0 = efeito pepita, h = distância, C_1 = patamar e a = alcance.

A análise da dependência espacial foi realizada de acordo com a classificação proposta por Zimback (2001), na qual analisa o índice de dependência espacial (IDE), (Equação 8), utilizando a relação $C_1/(C_0+C_1)$ e os intervalos que considera: dependência espacial fraca (IDE < 25%); moderada (25% ≤ IDE < 75%) e forte (IDE ≥ 75%), indicando que quanto maior o valor do IDE de um modelo, maior a dependência espacial, e maior estrutura de continuidade espacial.

$$IDE = \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) * 100 \quad (08)$$

Os modelos foram avaliados pelo maior coeficiente de determinação (R^2) e o maior coeficiente de correlação entre o valor conhecido e o estimado pelo modelo na validação cruzada. Após a análise da dependência espacial, realizou-se a interpolação pelo método de Krigagem pelo software GS+ e a edição dos mapas no programa SURFER 14.0 (2014).

3. RESULTADOS

A radiação global média nos períodos de coleta dos dados foi de 16,8 e 23,2 MJ/m².dia para o inverno e verão, respectivamente. A Tabela 1 ilustra os valores médios de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar, luminosidade, ITU, ITGU e entalpia nos horários das 09 e 15 horas durante os períodos de inverno e verão.

Na Tabela 2, estão apresentados os parâmetros da análise da geoestatística, como modelo de semivariogramas teóricos ajustados, efeito pepita, patamar, alcance, coeficiente de determinação e índice de dependência espacial e classificação.

Os mapas de isolinhas estimados por krigagem, no inverno e verão, estão apresentados para temperatura do ar (Figura 4), umidade relativa do ar (Figura 5), velocidade do ar (Figura 6), luminosidade (Figura 7), ITU (Figura 8), ITGU (Figura 9) e entalpia (Figura 10) agrupadas em classes de cores.

Tabela 1. Análise estatística descritiva dos valores máximos, mínimos, médios, desvio padrão e coeficiente de variação para Temperatura do Ar (°C), Umidade Relativa do Ar (%), Velocidade do Ar (m/s), Luz (lm/m²), ITU, ITGU e Entalpia (kJ/kg) nos horários das 09 e 15 horas durante os períodos de inverno e verão.

Table 1. Descriptive statistical analysis of the maximum, minimum, average, standard deviation and coefficient of variation values for Air Temperature (°C), Relative Humidity (%), Air Speed (m/s), illuminance (lm/m²), ITU, ITGU and Enthalpy (kJ/kg) at 9 am and 3 pm during the winter and summer periods.

Variáveis	Períodos	Horário	Máxima	Mínima	Média	Desvio	C.V. (%)
Temp. (°C)	Inverno	09:00	25,80	24,60	25,15	0,29	1,18
		15:00	30,10	29,10	29,48	0,19	0,65
	Verão	09:00	26,60	25,50	25,99	0,22	0,87
		15:00	31,40	30,60	30,95	0,16	0,52
UR(%)	Inverno	09:00	64,30	59,70	61,84	1,07	1,74
		15:00	44,10	40,70	41,72	0,56	1,36
	Verão	09:00	64,13	60,13	62,05	0,77	1,24
		15:00	41,47	38,60	39,75	0,58	1,47
Vel. Ar (m/s)	Inverno	09:00	4,30	0,04	0,65	0,65	100,00
		15:00	1,11	0,05	0,40	0,22	54,72

	Verão	09:00	1,71	0,17	0,56	0,29	53,02
		15:00	1,24	0,11	0,48	0,18	39,13
Luz (lm/m ²)	Inverno	09:00	2293,00	132,00	609,69	426,07	69,88
		15:00	3544,00	128,00	762,14	617,32	80,99
ITU	Verão	09:00	1969,67	212,67	711,37	398,28	55,98
		15:00	2623,67	177,67	800,45	456,40	57,01
ITGU	Inverno	09:00	79,50	77,70	78,45	0,41	0,52
		15:00	83,81	82,39	82,91	0,30	0,36
Entalpia (kj/kg)	Verão	09:00	85,74	79,19	79,95	0,58	0,73
		15:00	85,76	84,51	84,97	0,25	0,29
ITGU	Inverno	09:00	80,40	78,60	78,60	0,37	0,47
		15:00	85,11	82,84	82,84	0,43	0,51
Entalpia (kj/kg)	Verão	09:00	85,94	79,39	80,15	0,58	0,72
		15:00	85,96	84,71	85,17	0,25	0,29
Temp. (°C)	Inverno	09:00	67,87	66,04	66,76	0,59	0,59
		15:00	70,23	68,75	69,35	0,34	0,49
Vel. Ar (m/s)	Verão	09:00	69,13	67,64	68,37	0,31	0,46
		15:00	72,25	70,75	71,23	0,29	0,41

Temp. (°C) = Temperatura do Ar; U.R(%) = Umidade Relativa do Ar; Vel. Ar (m/s) = Velocidade do Ar; ITU = Índice de Temperatura e Umidade; ITGU = Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade e C.V. (%) = Coeficiente de Variação.

Tabela 2. Parâmetros dos semivariogramas experimentais de Temperatura do Ar (°C), Umidade Relativa do Ar (%), Velocidade do Ar (m/s), Luz (lm/m²), ITU, ITGU e Entalpia (kj/kg), para os horários de 9:00 e 15:00 na instalação e em dois períodos experimentais, inverno e verão.

Table 2 Parameters of the experimental semivariograms for air temperature (°C), relative humidity (%), air speed (m/s), illuminance (lm/m²), ITU, ITGU and enthalpy (kj/kg), for the times 9:00 am and 3:00 pm at the facility and in two experimental periods, winter and summer.

Estação	Variáveis	Horário	Modelo	C ₀	C ₀ + C ₁	A (m)	R ²	IDE (%)	Classificação do IDE
Temp. (°C)	Inverno	09:00	GAU.	0,012	0,096	2,58	0,939	87,5	Alto
		15:00	GAU.	0,019	0,048	11,82	0,964	60,3	Moderado
	Verão	09:00	ESF.	0,0186	0,056	7,37	0,958	67,1	Moderado
		15:00	EXP.	0,0172	0,0402	8,55	0,768	76,8	Alto
U.R(%)	Inverno	09:00	GAU.	0,166	1,217	4,27	0,982	86,4	Alto
		15:00	EXP.	0,179	0,363	11,61	0,905	50,7	Moderado
	Verão	09:00	ESF.	0,0010	1,071	14,64	0,991	99,9	Alto
		15:00	ESF.	0,0240	0,374	4,19	0,854	93,6	Alto
Vel. Ar (m/s)	Inverno	09:00	GAU.	0,153	0,692	8,72	0,996	99,6	Alto
		15:00	ESF.	0,008	0,049	2,11	0,838	98,4	Alto
	Verão	09:00	GAU.	0,0384	0,113	6,78	0,991	66,3	Moderado
		15:00	ESF.	0,0003	0,036	1,91	0,494	99,2	Alto
Luz (lm/m ²)	Inverno	09:00	ESF.	40700	289800	12,6	0,991	99,1	Alto
		15:00	ESF.	49000	5817000	11,9	0,998	91,6	Alto
	Verão	09:00	ESF.	310000	202500	8,07	0,996	98,5	Alto
		15:00	ESF.	100000	311200	10,81	0,999	97,3	Alto
ITU	Inverno	09:00	ESF.	0,0001	0,1882	2,58	0,866	99,9	Alto
		15:00	GAU.	0,0489	0,1196	11,17	0,944	58,4	Moderado
	Verão	09:00	GAU.	0,1910	0,884	1,19	0,539	78,4	Alto
		15:00	GAU.	0,0412	0,0987	5,95	0,821	57,9	Moderado
ITGU	Inverno	09:00	ESF.	0,0109	0,1498	2,31	0,368	92,7	Alto
		15:00	GAU.	0,0365	0,2340	8,26	0,974	84,4	Alto
	Verão	09:00	GAU.	0,0006	0,313	1,19	0,539	83,9	Alto
		15:00	GAU.	0,0412	0,097	5,26	0,756	57,9	Moderado
Entalpia (kj/kg)	Inverno	09:00	ESF.	0,0138	0,1696	2,36	0,659	81,9	Alto
		15:00	ESF.	0,0515	0,1460	12,78	0,910	64,7	Moderado
	Verão	09:00	EXP.	0,0082	0,099	2,97	0,552	91,8	Alto
		15:00	ESF.	0,0489	0,1024	9,51	0,977	52,2	Moderado

C₀=Efeito Pepita; (C₀+C₁)=Patamar; A=Alcance; IDE=Índice de Dependência Espacial; R²=Coeficiente de determinação; GAU=Gaussiano; EXP= Exponencial; ESF= Esférico.

4. DISCUSSÃO

Observou-se na Tabela 1, que todos os parâmetros avaliados apresentaram baixa variabilidade (C.V < 12%), exceto, a velocidade do ar que apresentou alta variabilidade (C.V > 62%) no período de inverno, às 9 horas, e média

variabilidade (12% ≤ C.V ≤ 62%) nos diferentes horários e estações do ano para velocidade do ar e luminosidade de acordo com Warrick e Nielsen, (1980). Destaca-se que esses valores elevados são em decorrência da grande variabilidade da variável velocidade do ar.

Variabilidade espacial do ambiente térmico e da iluminação em instalação para frangos de corte ...

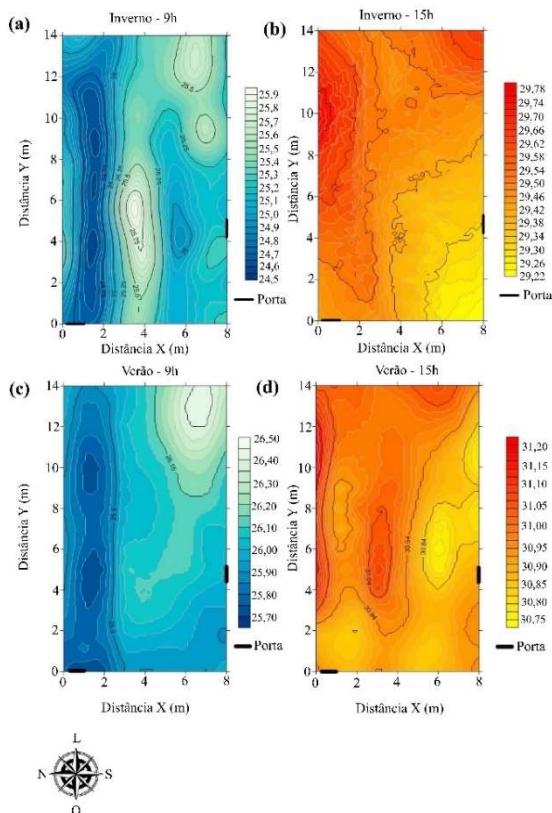


Figura 4. Distribuição espacial da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) nos horários de 9h (a) e 15h (b) horas no inverno e nos horários de 9h (c) e 15h (d) horas no verão.

Figure 4. Spatial distribution of air temperature ($^{\circ}\text{C}$) at 9 am (a) and 3 pm (b) in winter and at 9 am (c) and 3 pm (d) in summer.

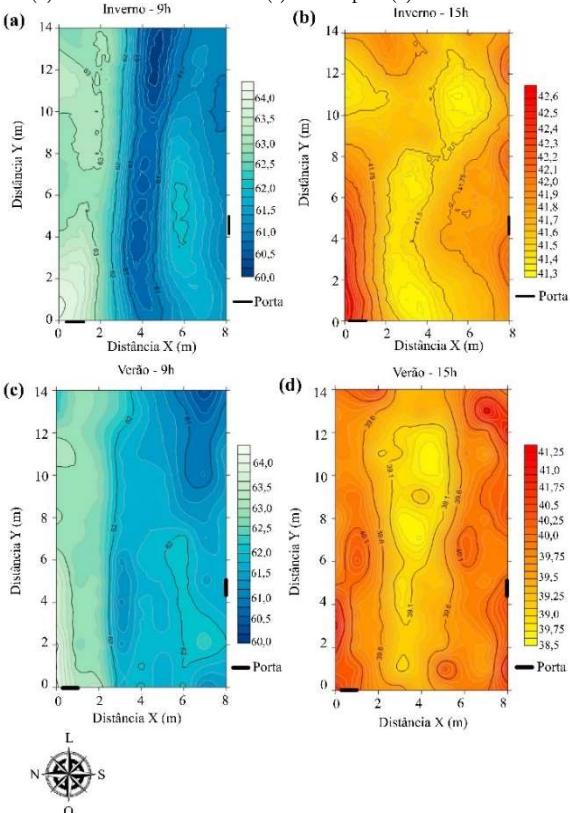


Figura 5. Distribuição espacial da umidade relativa (%) às 9h (a) e às 15h (b) no inverno e às 9h (c) e 15h (d) no verão.

Figure 5. Spatial distribution of relative humidity (%) at 9 am (a) and 3 pm (b) in winter and at 9 am (c) and 3 pm (d) in summer.

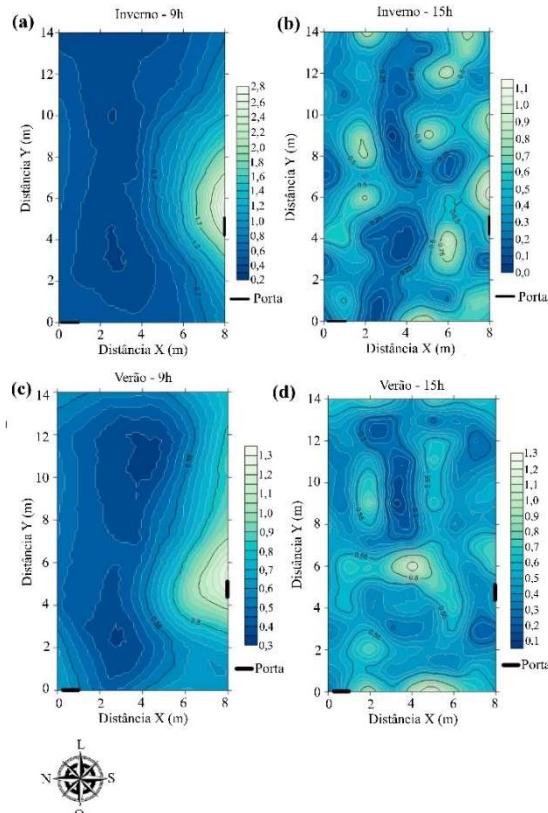


Figura 6. Distribuição espacial da velocidade do ar (m/s) às 9h (a) e às 15h (b) no inverno e às 9h (c) e 15h (d) no verão.

Figure 6. Spatial distribution of air speed (m/s) at 9 am (a) and 3 pm (b) in winter and at 9 am (c) and 3 pm (d) in summer.

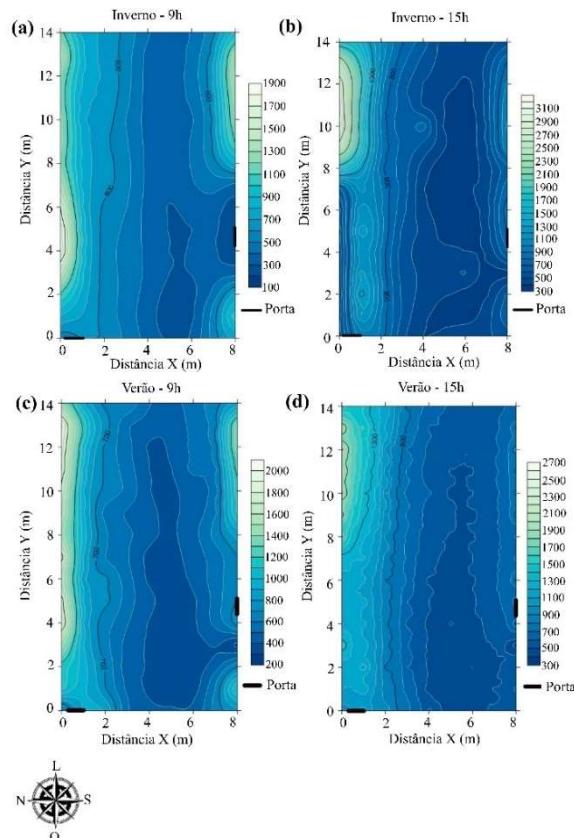


Figura 7. Distribuição espacial da iluminância (Im/m^2), às 9h (a) e às 15h (b) no inverno e às 9h (c) e 15h (d) no verão.

Figure 7. Spatial distribution of illuminance (Im/m^2), at 9 am (a) and 3 pm (b) in winter and at 9 am (c) and 3 pm (d) in summer.

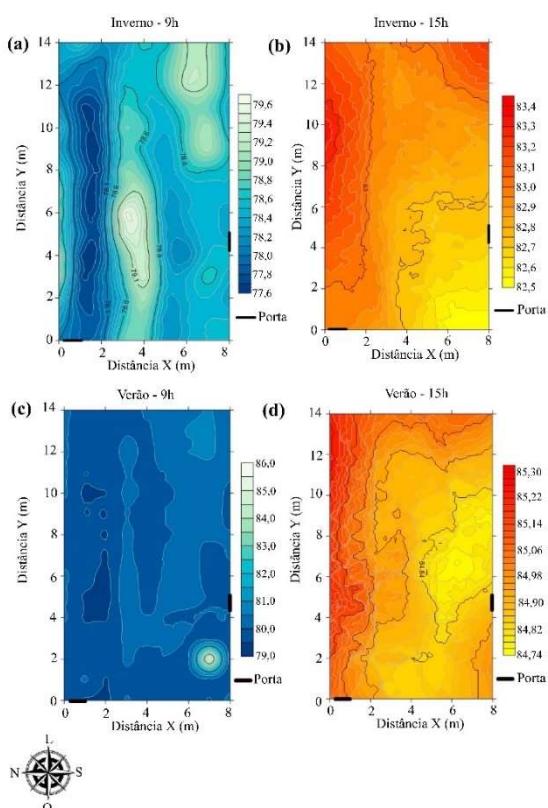


Figura 8. Distribuição espacial do Índice de Temperatura e Umidade (ITU), às 9h (a) e 15h (b) no inverno e às 9h (c) e 15h (d) no verão.
Figure 8. Spatial distribution of Temperature and Humidity Index (ITU), at 9 am (a) and 3 pm (b) in winter and at 9 am (c) and 3 pm (d) in summer.

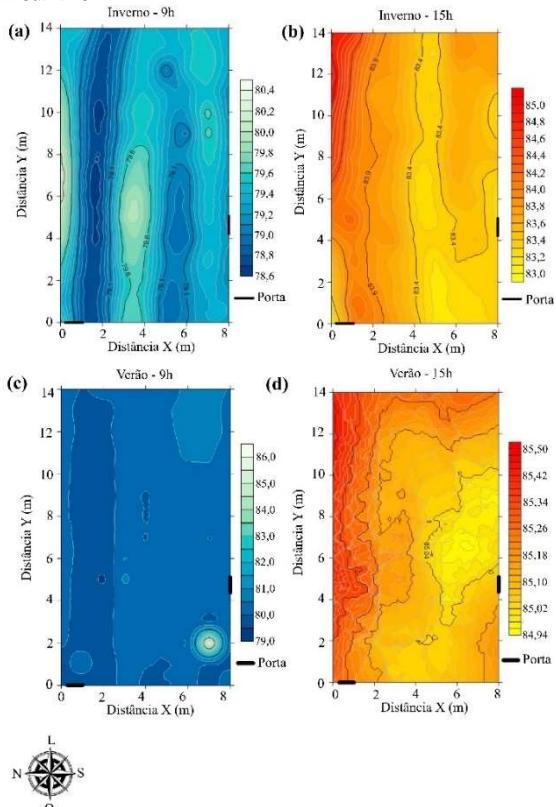


Figura 9. Distribuição espacial do Índice de Temperatura e Umidade do Globo Negro (ITGU), às 9h (a) e 15h (b) no inverno e às 9h (c) e 15h (d) no verão.
Figure 9. Spatial distribution of Black Globe Temperature and Humidity Index (ITGU), at 9 am (a) and 3 pm (b) in winter and at 9 am (c) and 3 pm (d) in summer.

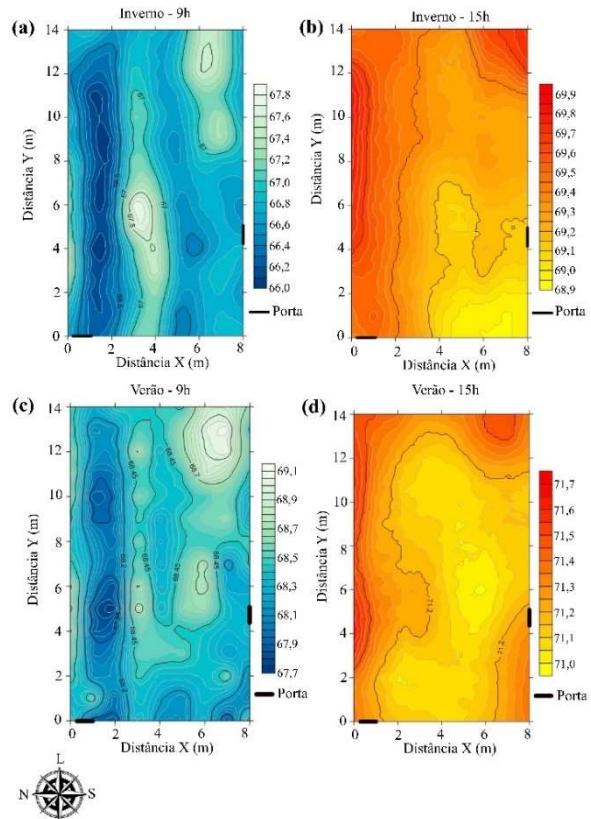


Figura 10. Distribuição espacial da Entalpia (kJ/kg), às 9h (a) e 15h (b) no inverno e às 9h (c) e 15h (d) no verão.
Figure 10. Spatial distribution of Enthalpy (kJ/kg), at 9 am (a) and 3 pm (b) in winter and at 9 am (c) and 3 pm (d) in summer.

Analisando a Tabela 2, observa-se que os resultados da geoestatística mostraram que nas duas estações do ano e nos dois horários analisados as variáveis apresentaram dependência espacial de alta a moderada, conforme ilustrado por Zimback (2001). A análise dos semivariogramas para as variáveis climáticas não indicou nenhuma direção, que de acordo com Vieira (2000), essa variabilidade dos dados ocorre em mesma direção e da mesma maneira, ou seja, os dados não possuem anisotropia. Curi et al. (2014), relataram que quanto maior a dependência espacial, menor será a contribuição do efeito pepita na variabilidade espacial dos dados e, consequentemente, melhor será a estimativa por meio do método de interpolação krigagem. Contudo, a distribuição das características do microclima espacial e do índice de conforto não é aleatória, já que os dados apresentam valores de dependência espacial de alto a moderado, respectivamente.

Além disso, na tabela 2, percebe-se que o menor e o maior valor de Alcance (A), foram de 1,19 e 14,64, respectivamente. Estes dados têm uma aceitável relevância, tendo em vista que, dependência espacial é dada pelo limite de determinação destes valores, ou seja, quanto maior o alcance melhor a homogeneidade dos dados. Segundo Vieira (2000), quando uma variável apresenta diferença de um local para outro com algum grau de continuidade, expresso pela dependência espacial, a krigagem apresenta vantagem de fornecer mapas de isolinhas precisos, permitindo uma visão espacial útil ao planejamento e controle das informações do ambiente de produção, através da interpolação.

Foi possível observar que o valor médio de temperatura do ar, para ambas as estações do ano, foram próximos no

horário das 9 horas. Para este horário, o ambiente foi considerado dentro da zona de conforto para frangos de corte a partir da segunda semana de vida, em que a temperatura indicada na fase adulta varia entre 18 e 26°C (BAÊTA; SOUZA, 2010).

Pela figura 4, no período de inverno às 9 horas, as temperaturas do ar variavam entre 24,5 e 25,9°C, com zonas de temperaturas mais baixas iniciando na porta localizada do lado oeste da instalação e percorrendo por quase todo o seu comprimento. Na estação do inverno às 15 horas, as temperaturas do ar variavam entre 29,2 e 29,8°C, sendo possível perceber que na lateral direita da instalação as temperaturas se mantiveram mais amenas. Esse comportamento pode ser explicado devido ao caminho gerado pela circulação de ar criado entre a porta, a qual era composta de tela galvanizada e, os cobogós ao fundo do galpão. No exterior da lateral esquerda da instalação havia menor presença de vegetação, que refletia em maior quantidade de radiação solar e contribuía para as altas temperaturas. Além disso, de acordo com o mapa apresentado, há predominância de maior temperatura localizada na área central do galpão, indicando a ação do lanternim na troca de ar.

No período de verão, no horário de 9 horas, as temperaturas do ar variavam entre 25,65 e 26,45°C, com zonas de temperaturas mais baixas no entorno da porta localizada na lateral oeste e ao longo do comprimento da instalação. Essa zona de temperatura mais baixa é formada pela corrente de ar, sendo possível observar a transição entre as temperaturas, resultado da troca de ar pelo lanternim. Às 15 horas, as temperaturas do ar variaram entre 30,74 e 31,2°C, sendo comum altas temperaturas nessa época do ano devido às características regionais da cidade de Petrolina. A faixa de temperatura, em todo o interior da instalação, ficou acima da faixa recomendada, o que pode proporcionar um ambiente estressante para as aves. De maneira geral, no horário das 15 horas em ambas as estações do ano, o ambiente pode ser considerado estressante para as aves.

Os valores médios de umidade relativa do ar variaram de 61,84% a 62,05% às 9 horas e de 41,72% e 39,75% às 15 horas para as estações de inverno e verão, respectivamente. Às 9 horas da manhã, nas duas estações, a instalação apresentou valores dentro da zona de conforto para animais domésticos que, segundo Baêta e Souza, (2010) e Dalólio et al. (2016), deve estar entre 50% e 70%. Entretanto, nota-se que às 15 horas, os valores de umidade estão abaixo do recomendado nas duas épocas. Na Figura 5 durante o inverno, às 9 horas, a UR variou entre 60 e 64,2%, com a área no entorno da porta localizada na ala oeste da instalação apresentando maior umidade em virtude de fatores externos, tais como vegetação e corrente de ar. Ainda em observância no período de inverno, às 15 horas, a umidade relativa do ar variou entre 41,25 e 42,65%, considerados abaixo da média de zona de conforto. O local que apresentou maior umidade relativa do ar foi na faixa próxima a entrada oeste e a menor umidade foi medida na área central da instalação.

No verão, às 9 horas, a UR variou entre 60 e 64,2%, mantendo-se dentro da zona de conforto. As maiores umidades ficaram ao redor da porta oeste e na parede que segue a zona norte da instalação, onde encontram-se gramíneas no lado exterior da parede. Ainda no período de verão, às 15 horas, a UR variou entre 38,6 e 41,2%, valores abaixo da zona de conforto animal. A área central do galpão

apresentou os valores mais baixos de umidade, atestando que o lanternim tem menor impacto do que a janela quando associado a circulação de ar. Em todos os períodos analisados, a área localizada ao Norte apresentou maior umidade relativa do ar em ambos os horários estudados, essa umidade é explicada pela existência de gramíneas ao longo da instalação que podem ter contribuído para sua elevação através da evapotranspiração.

Além disso, manter o ambiente dentro da zona de conforto é importante para a criação de frangos, assim, quando a instalação não apresenta condições ambientais dentro dos limites adequados, o ambiente térmico é considerado desconfortável. Os valores de temperatura e umidade relativa do ar para o horário das 15 horas ficaram acima dos limites ideais para o ambiente térmico confortável para a produção de frangos de corte. Valores similares foram obtidos por Faustino et al. (2021) para aves caipiras de corte confinadas em dois galpões diferentes localizados em região semiárida.

Pela Figura 6, observou-se que a velocidade do ar no inverno às 9 horas variou entre 0,2 e 2,7 m/s, sendo o local com maiores valores localizado ao redor da porta na ala sul, em contrapartida o interior da instalação apresentou menores valores. Segundo Yahav et al. (2001), o ganho de peso em frangos de corte é significativamente maior quando expostos a velocidade do ar de 1,5 e 2,0 m/s, e valores inferiores, como 0,5 e 1,0 m/s, resultam em desempenho inferior, sendo assim, a instalação necessita de ventilação mecânica para auxiliar a circulação do ar no seu interior. Às 15 horas, os valores variaram de 0 a 1,1 m/s, sendo essa distribuição de velocidade heterogênea ao longo da instalação e ilustrando que a circulação do ar por todo seu interior está abaixo da faixa ideal. Essa baixa circulação do ar pode ter sido originada pela baixa altura do pé direito do galpão de 2,5 metros.

Para o atributo velocidade do ar, classifica-se como alta variabilidade dos dados às 9 horas no inverno, e média variabilidade às 15 horas do inverno e nos dois turnos do verão, causando disparidade das médias com alto e médio valor do coeficiente de variação (C.V). Faria et al. (2008), relatam que o ar é caracterizado por mudar sua magnitude e direção constantemente com variações de até 100% na média da magnitude num intervalo de 5 minutos, dando a característica de alta, média e baixa variabilidade.

Na época de verão às 9 horas, a velocidade do ar variou entre 0,3 e 1,3 m/s, atingindo o pico máximo nas proximidades da porta sul. A circulação do ar foi reduzindo no interior da instalação, mostrando a necessidade de promover técnicas para ampliar sua distribuição no interior do aviário, tais como ventilação forçada. No verão, às 15 horas, a velocidade do ar variou entre 0,05 e 1,25 m/s, e apresentou variabilidade dos dados em toda extensão da instalação. Isso demonstra que ocorre a circulação do ar por todo o interior da instalação, no entanto essa velocidade não atingiu os de valores ideais, sendo que essa circulação é essencial para transportar gases gerados na cama do aviário.

O alto valor médio na taxa de luminosidade da instalação analisada, em ambas as estações do ano e horários, deve-se ao tipo de materiais e técnicas utilizados. A cobertura da edificação é de material cerâmico e beiral 0,5 m, o que proporciona maior incidência de radiação solar nas fachadas laterais. Na figura 7, observa-se que no inverno às 9 horas, o índice de luminosidade variou entre 100 e 1800 lux, sendo a zona de menor intensidade localizada na área central da

instalação e a zona de maior intensidade nas áreas laterais, área de ação do beiral. Ainda no inverno, às 15 horas, o índice de luminosidade variou de 300 a 3100 lux. No período da tarde a iluminância captada foi superior ao período da manhã devido a maior incidência de radiação solar na instalação, que atinge o pico no período de meio-dia.

No verão, às 9 horas, a intensidade de luz variou entre 200 e 2000 lux, com a área central também apresentando os menores índices de luminosidade, enquanto as faces Norte e Sul apresentaram os maiores índices de iluminância. Ainda no verão, às 15 horas, a intensidade da luz variou de 300 a 2600 lux. O lado direito da instalação apresentou os menores índices de luminosidade, em oposição ao lado Nordeste, que apresentou a maior iluminância, 2600 lux.

A luminosidade apresentou coeficiente de variação alto ($C.V > 62\%$) no inverno (Tabela 1), em ambos os turnos, e para a estação verão apresentou coeficiente de variação médio ($12\% < C.V. < 62\%$) nos dois horários analisados. Silva et al. (2013), afirmaram que os altos e médios valores no coeficiente de variação é um indicador da existência de heterogeneidade, que no caso do experimento, pode ter sido resultado da presença de nuvens que ocasionou essa variação. Mesmo dentro de uma mesma instalação, existem diferenças de intensidade luminosa, sendo que os níveis de desempenho dos frangos podem variar, como ocorreu no experimento de Faustino et al. (2021), com frangos caipiras alojados em duas diferentes instalações em região semiárida.

A Tabela 1 evidencia que os valores médios de ITU, no inverno e verão, às 9 horas, variaram de 78,45 a 79,95, e às 15 horas, de 82,91 a 84,97. Gates et al. (1995), classificaram o ITU para frangos de corte em três faixas, até 74 configuraram conforto térmico, entre 74 e 79 alertas de perigo e 79 a 84 situação de emergência. Já Nascimento et al. (2011), classificaram conforto para ITU numa faixa que compreende de 64 a 74 para aves na fase adulta. Diante disso, o ambiente pode ser classificado como fora da zona de conforto, para as duas estações do ano, bem como nos dois horários analisados, podendo chegar em situação de emergência às 15 horas, o que pode acarretar a morte das aves. Silva et al. (2004), considera dentro da zona de conforto para frangos de corte na primeira semana de vida ITU entre 72,4 e 80, para este experimento, o ambiente foi classificado dentro da zona de conforto nas duas estações do ano no horário das 9 horas para esta faixa de idade.

Na distribuição espacial do ITU, os menores valores ficaram localizados na face norte da instalação, na área de menor temperatura e maior umidade. Esses fatores podem afetar o conforto da ave a depender da sua fase de vida. No inverno, às 15 horas, os valores de ITU variavam entre 82,5 e 83,4. Os maiores índices de ITU foram medidos na extremidade Norte e Sudeste da instalação e os menores foram medidos na extremidade Sudoeste. Esse horário representa um alerta de perigo para todas as fases de vida da ave, da 1^a à 7^a semana, pois apresenta o ITU acima do ideal, verificando a necessidade de melhoria da instalação com técnicas que aprimore as condições térmicas, pois segundo Kang et al. (2020) um dos efeitos mais prejudiciais do estresse térmico é a mortalidade das aves.

No verão, às 9 horas, os valores de ITU variavam entre 79 e 85,5. Valores que não se enquadram na faixa ideal em qualquer fase de vida do animal, configurando situação de emergência. As extremidades Norte e Sudoeste são as áreas que apresentaram maiores e menores valores de ITU, respectivamente. Ainda no verão, às 15 horas, os valores de

ITU variavam entre 84,74 e 85,3, sendo os valores mais altos localizados na zona de maior temperatura e média umidade, ou seja, na face norte da instalação.

Os valores médios de ITGU, para ambas as estações do ano, às 9 horas, foi de 79,29 e 80,15, às 15 horas foi de 83,69 e de 85,17. Segundo Oliveira Júnior et al. (2021), para que os frangos fiquem em conforto térmico, o ITGU deve ficar entre $75,8 \pm 0,9$ e $79,7 \pm 1,6$ durante a primeira semana, $71,9 \pm 1,0$ e $74,4 \pm 1,8$ durante a segunda semana e $68,7 \pm 1,0$ e $71,7 \pm 0,4$ na terceira semana. Como observado na figura 8, os menores valores de ITGU foram na face norte e os maiores na área central da instalação. Em ambas as posições, o ITGU ficou fora da zona de conforto para aves.

Como observado, constata-se que a instalação analisada se enquadra na zona de conforto térmico para aves de corte apenas na primeira semana de vida às 9 horas, nas duas estações analisadas. Já às 15 horas, dos dois ciclos analisados, o índice se encontra acima dos limites permitidos, o que ocasionaria desconforto térmico aos animais, em especial pelas condições climáticas da região e das características construtivas da instalação.

Com relação aos dados de entalpia, a Tabela 1 evidencia que os valores médios, no inverno e no verão às 9 horas, variaram de 66,76 a 68,37 kJ/kg ar seco, e às 15 horas variavam de 69 a 71,23 kJ/kg ar seco. De acordo com Sarnighausen et al. (2024), a entalpia reflete as condições psicrométricas das trocas de calor no ambiente e é utilizada para identificar e caracterizar o estado térmico, facilitando a tomada de decisões sobre as modificações ambientais necessárias para a implementação eficiente de sistemas intensivos de produção animal. Segundo Barbosa Filho et al. (2007), as faixas ideais da Entalpia (H) variam de acordo com a idade das aves de corte, sendo elas: na primeira semana de 77 a 88,3; na segunda semana de 66,9 a 77; na terceira semana de 57,7 a 66,9; e a partir da quarta semana: 37,4 a 52,1. Além disso, sugerem que a entalpia é considerada moderada de 52,2 a 63,01 kJ/kg de ar seco, severa de 63,1 a 72,6 1 kJ/kg de ar seco e com ambiente letal de 72,7 a 106,0 1 kJ/kg de ar seco.

Observou-se que os valores das variáveis ambientais encontrados dentro da zona crítica de conforto indicam que, se o ambiente interno da instalação se encontra em estado de alerta. Nesse sentido, deve-se ter atenção por se tratar de uma zona intermediária de alerta (moderada) e letal, o que servirá como um forte indício de que medidas urgentes devem ser tomadas para controlar o ambiente interno do galpão (MASCARENHAS et al., 2018), como por exemplo o uso de resfriamento adiabático, com aplicações de nebulizadores e ventilação forçada.

O mapa apresentou heterogeneidade dos valores, sendo a faixa de entalpia distribuída em vários pontos ao longo da instalação. A fachada norte apresentou os menores valores de entalpia, em virtude da umidade média e baixas temperaturas. Esse parâmetro corrobora com os valores obtidos no ITGU, temperatura e umidade relativa do ar, sintetizando em um parâmetro de análise de conforto térmico.

De forma geral, no horário das 15 horas em ambas as estações do ano, foi possível observar que as características climáticas da região podem influenciar diretamente no conforto térmico de frangos de corte em virtude do ambiente proporcionar estresse aos animais. Portanto, algumas medidas podem ser feitas para minimizar um possível desconforto térmico em frango de corte e possibilitar sua criação em região semiárida com melhores condições.

Dentre as possibilidades está a utilização da ventilação forçada, visando maior uniformização da circulação do ar dentro a instalação. Também é possível a inserção de nebulizadores ou o resfriamento adiabático, com o intuito de aumentar a troca de calor. Além disso, medidas como a pintura do telhado com cores capazes de refletir parte da radiação solar, o aumento dos beirais para evitar a incidência direta da radiação no interior da instalação, o aumento do pé-direito e a arborização no entorno podem ser alternativas para contribuir com a qualidade térmica da instalação.

5. CONCLUSÕES

O estudo da variabilidade espacial permitiu representar adequadamente as características térmicas e de luminosidade no interior da instalação para frangos de corte. Foi possível observar que os materiais e técnicas construtivas, associados às condições semiáridas da região, ocasionaram períodos que poderiam ser severos para as aves.

Pela avaliação dos índices de conforto térmico, que integram os dados microclimáticos, foi possível inferir que a instalação necessita de modificações para a melhoria do conforto térmico no seu interior.

Dentre essas medidas de mitigação, incluem-se a inserção de tecnologias por ventilação forçada, nebulização ou utilização de resfriamento adiabático, a pintura do telhado com cores capazes de refletir parte da radiação solar, o aumento dos beirais para evitar a incidência direta da radiação no interior da instalação, o aumento do pé-direito e a utilização de arborização ao seu redor.

6. REFERÊNCIAS

- ABPA_Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual 2020**. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2020/05/abpa_relatorio_anual_2020_portugues_web.pdf>. Acesso em: 18 set 2021.
- BAETA F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais, conforto animal**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2010. 269p.
- BARBOSA FILHO, J. A.; SILVA, I. J.; SILVA, M. A.; SILVA, C. J. Behavior evaluation of laying hens using image sequences. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 93-99, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000100002>
- BRANCO, T.; MOURA, D. J. D.; NÄÄS, I. A.; LIMA, N. D. S.; KLEIN, D. R.; OLIVEIRA, S. R. D. M. The sequential behavior pattern analysis of broiler chickens exposed to heat stress. **AgriEngineering**, v. 3, p. 447-457, 2021. <https://doi.org/10.3390/agriengineering3030030>
- BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITI, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981. <https://doi.org/10.13031/2013.34325>
- CURI, T. M. D. C.; VERCCELLINO, R. D. A.; MASSARI, J. M.; SOUZA, Z. M.; MOURA, D. J. D. Geostatistic to evaluate the environmental control in different ventilation systems in broiler houses. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, p. 1062-1074, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000600004>
- DALÓLIO, F. S.; MOREIRA, J.; COELHO, D. J. R.; SOUZA, C. F. Bioclimatic characterization of an experimental shed broiler creation in the region of Diamantina-MG. **Engenharia na Agricultura**, v. 24, n. 1, p. 22-31, 2016. <https://doi.org/10.13083/reveng.v24i1.648>
- FARIA, F. F. D.; MOURA, D. J. D.; SOUZA, Z. M. D.; MATARAZZO, S. V. Climatic spatial variability of a dairy free-stall barn. **Ciência Rural**, v. 38, n. 9, p. 2498-2505, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000900013>
- FAUSTINO, A. C.; TURCO, S. H.; SILVA JUNIOR, R. G.; MIRANDA, I. B.; ANJOS, I. E.; LOURENÇONI, D. Spatial variability of enthalpy and illuminance in free-range broiler sheds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 5., p. 340-344, 2021. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n5p340-344>
- FERRAZ, P. F.; YANAGI JUNIOR, T.; FERRAZ, G. A.; SCHIASSI, L.; CAMPOS, A. T. Spatial variability of enthalpy in broiler house during the heating phase. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 570-575, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p570-575>
- FOURNEL, S.; ROUSSEAU, A. N.; LABERGE, B. Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming. **Biosystems Engineering**, v. 155, p. 96-123, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.12.005>
- GATES, R. S.; ZHANG, H.; COLLIVER, D. G.; OVERHULTS, D. G. Regional variation in temperature humidity index for poultry housing. **Transactions of the ASAE**, v. 38, n. 1, p. 197-205, 1995. <https://doi.org/10.13031/2013.27830>
- INMET_Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil (1991- 2020)**. Brasília. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 11 Out. 2024.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. 1 ed. New York: Oxford University Press, 1989. 592p.
- KANG, S.; KIM, D. H.; LEE, S.; LEE, T.; LEE, K. W.; CHANG, H. H.; MOON, B.; AYASAN, T.; CHOI, Y. H. An acute, rather than progressive, increase in temperature-humidity index has severe effects on mortality in laying hens. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 7, e568093, 2020. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.568093>
- KHEIRALIPOUR, K.; RAFIEE, S.; KARIMI, M.; NADIMI, M.; PALIWAL, J. The environmental impacts of commercial poultry production systems using life cycle assessment: a review. **World's Poultry Science Journal**, v. 80, n. 1, p. 33-54, 2024. <https://doi.org/10.1080/00439339.2023.2250326>
- LUNDGREN, W. J. C.; SILVA, J. A. A. D.; FERREIRA, R. L. C. Prediction of eucalyptus wood by cokriging, kriging and regression. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 243-250, 2015. <https://doi.org/10.1590/01047760201521021532>
- MASCARENHAS, N. M. H.; COSTA, A. N. L.; PEREIRA, M. L. L.; CALDAS, A. C. A.; BATISTA, L. F.; ANDRADE, E. L. G. Thermal conditioning in the broiler production: challenges and possibilities. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 6, n. 2,

- p. 52-55, 2018. <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v6n2p52-55>
- NASCIMENTO, G. R. D.; PEREIRA, D. F.; NÄAS, I. D. A.; RODRIGUES, L. H. Thermal comfort fuzzy index for broiler chickens. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 219-229, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000200002>
- NKUKWANA, T. T. Global poultry production: current impact and future outlook on the South African poultry industry. **South African Journal of Animal Science**, v. 48, n. 5, p. 869-884, 2018. <https://doi.org/10.4314/sajas.v48i5.7>
- OLIVEIRA JÚNIOR, A. J.; SOUSA, G. S.; DAL PAI, E.; ALMEIDA, O. C. P.; NETO, M. M.; SIMÕES, R. P.; SOUZA, S. R. L. System for assessing broilers thermal comfort. **Smart Agricultural Technology**, v. 1, e100007, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100007>
- RODRIGUES, V. C.; SILVA, I. J. O.; VIEIRA, F. M. C.; NASCIMENTO, S. T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, v. 55, p. 455-459, 2011. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0344-y>
- SAEED, M.; ABBAS, G.; ALAGAWANY, M.; KAMBOH, A. A.; ABD EL-HACK, M. E.; KHAFAGA, A. F.; CHAO, S. Heat stress management in poultry farms: A comprehensive overview. **Journal of Thermal Biology**, v. 84, p. 414-425, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.07.025>
- SANTOS, W. S.; LIMA, A. V.; NASCIMENTO, C. H.; CORDEIRO, L. S.; SOUZA, B. S.; MAIA, M. I. L.; AFO, D. I. B.; AZEVEDO, M. C.; ASSIS, H. J. X.; BORGES, P. F.; ARAÚJO, L. S. Profile of chicken meat consumers in the city of Salgueiro - PE - Brazil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, e307111233445, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.33445>
- SARNIGHAUSEN, V. C. R.; NORIS, F. J.; FRANCO, J. R.; CAMPOS, F. S.; NARDI JÚNIOR, G.; SEVEGNANI, K. B.; SARTORI, D. L. Cenários de mudanças climáticas e efeitos na entalpia como índice biometeorológico. **Nativa**, v. 12, n. 3, p. 567-576, 2024. <https://doi.org/10.31413/nat.v12i3.16222>
- SILVA, E. G. D.; SANTOS, A. C. D.; FERREIRA, C. L. S.; SOUSA, J. P. L. D.; ROCHA, J. M. L. D.; SILVEIRA JÚNIOR, O. Spatial variability of the environmental characteristics and weight of broilers in shed negative ventilation. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 1, p. 132-141, 2013.
- SILVA, E. T.; LEITE, D. G.; YURI, F. M. Determination of the Temperature and Humidity Index (ITU) for the Birds Production in Metropolitan Mesoregion of Curitiba - PR. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v. 2, n. 3, p. 47-60, 2004. <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v2i3.15099>
- SILVA, I. J. S.; VIEIRA, F. M. C. Animal ambiance and productive losses on the preslaughter handling: the Brazilian poultry production case. **Archivos de zootecnia**, v. 59, p. 113-131, 2010. <https://doi.org/10.21071/az.v59i232.4910>
- TAINIKA, B.; ŞEKEROĞLU, A.; AKYOL, A.; WAITHAKA NG'ANG'A, Z. Welfare issues in broiler chickens: overview. **World's Poultry Science Journal**, v. 79, n. 2, p. 285-329, 2023. <https://doi.org/10.1080/00439339.2023.2175343>
- THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57-61, 1959. <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Eds.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-154.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.) **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-348580-9.50018-3>
- YAHAV, S.; STRASCHNOW, A.; VAX, E.; RAZPAKOVSKI, V.; SHINDER, D. Air velocity alters broiler performance under harsh environmental conditions. **Poultry Science**, v. 80, p. 724-726, 2001. <https://doi.org/10.1093/ps/80.6.724>
- ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 114f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e Fotopedologia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

Agradecimentos: Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Contribuição dos autores: O.C.B.: conceitualização, metodologia, investigação ou coleta dos dados, validação, redação (original); M.N.A.: análise estatística, validação, redação (revisão e edição); S.H.N.T.: conceitualização, administração ou supervisão, redação (revisão e edição); P.T.L.O.: conceitualização, administração ou supervisão, redação (revisão e edição); I.C.M.G.: metodologia, investigação ou coleta dos dados, redação (revisão e edição); L.C.R.Q.: metodologia, investigação ou coleta dos dados, redação (revisão e edição); L.B.F.F.: metodologia, investigação ou coleta dos dados, redação (revisão e edição). Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Não aplicável.

Revisão por comitê institucional: Não aplicável.

Comitê de Ética: Não aplicável.

Disponibilidade de dados: Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente via e-mail.

Conflito de interesses: Os autores declararam não haver conflito de interesses.