

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, em especial meu falecido avô Eniomar José Schmaedecke, pois foram eles que inspiraram minha graduação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a meus pais e irmã, os quais sempre me apoiaram nos momentos mais difíceis, sejam eles financeiros ou emocionais.

Ao meu orientador, Sergio Henrique Rodrigues Mota, pelas orientações e conselhos ao longo de toda minha graduação.

Aos meus colegas do curso, em especial à Larissa Winter, pelo suporte, parceria e conselhos durante a elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado sob todas as adversidades.

Enfim, a todas as pessoas que se cruzaram em meu caminho ao longo desta jornada.

RESUMO

Granjas de terminação são locais designados à atividade de suinocultura – estágio onde o animal passa pelo processo de crescimento e engorda até atingir o peso desejado para o abate de aproximadamente 120kg. Apesar de ser uma atividade consolidada no oeste do Paraná, o setor carece de soluções que ofereçam um controle da temperatura interna da granja sem que haja um monitoramento humano durante todo o tempo de operação e que seja economicamente viável. A granja utilizada como local da pesquisa está localizada na região interiorana de Toledo-PR e aloja aproximadamente 1200 suínos durante o período médio de 120 dias. Realizou-se o estudo de um sistema para promover a redução da temperatura ambiente interna à temperatura de conforto do animal. A implantação do sistema de climatização evaporativa por meio de nebulizadores foi dividida em 3 etapas, iniciando-se pela coleta de dados de temperatura e umidade do ambiente interno, a qual foi realizada via controlador Arduino e software livre desenvolvido pelo autor, avaliando os períodos do dia em que a temperatura se encontrou mais elevada. Na segunda etapa realizou-se a instalação do sistema de climatização evaporativa, dimensionando todos os seus componentes e equipamentos. Na etapa final houve a coleta dos dados adquiridos com o sistema em operação, comparando-os com as informações iniciais. O sistema teve seu funcionamento testado, porém não validado por conta da escassez de recursos hídricos no período proposto para elaboração desta pesquisa.

Palavras-chave: Granja. Temperatura. Suínos. Nebulização.

ABSTRACT

Finishing farms are places designated for pig farming - a stage where the animal goes through the growth process and grows fat until it reaches the desired weight for the slaughter of approximately 120 kg. Despite being a consolidated activity in the west of Paraná, the sector lacks solutions that offer control of the internal temperature of the farm without human monitoring during the entire operation time and that is economically viable. The farm used as the research site is in the interior region of Toledo-PR and houses approximately 1200 pigs during the average period of 120 days. The study of a system to reduce the internal ambient temperature to the comfort temperature of the animal was carried out. The implantation of the evaporative air conditioning system by means of nebulizers was divided into 3 stages, starting with the collection of humidity temperature data from the internal environment, which was carried out via Arduino controller and free software developed by the author, evaluating the periods of the day when the temperature was higher. In the second stage, the evaporative air conditioning system was installed, dimensioning all its components and equipment. In the final stage, the data acquired with the system in operation was collected, comparing them with the initial information. The system had its operation tested, but not validated due to the scarcity of water resources in the period proposed for this research.

Keywords: Farm. Temperature. Pigs. Nebulization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arduino UNO R3	22
Figura 2 - Fonte de alimentação	22
Figura 3 - Fluxograma Data Logger	23
Figura 4 - Sensor DHT22	23
Figura 5 - Módulo RTC.....	24
Figura 6 - Módulo SD	25
Figura 7 - Arquivo logger.....	25
Figura 8 – LCD 16x2.....	26
Figura 9 - Disposição dos nebulizadores (Vista lateral).....	27
Figura 10 - Disposição dos nebulizadores (Vista Superior).....	27
Figura 11 - Bico nebulizador.....	29
Figura 12 - Mangueira PVC	30
Figura 13 - Seção circular da mangueira.....	30
Figura 14 – Modelo bomba Hidromar.....	33
Figura 15 - Montagem do sensor.....	35
Figura 16 - Posicionamento do sensor.....	35
Figura 17 - Propriedades da água	40
Figura 18 - Instalação das mangueiras	42
Figura 19 - Bico nebulizador instalado	42
Figura 20 – Disponibilidade de água no solo	43
Figura 21 – Precipitação.....	43
Figura 22 - Motor elétrico bomba	49
Figura 23 – Filtro da bomba	49
Figura 24 - Bomba Hidromar BH6100.....	50
Figura 25 - Instalação vista interna “1”	51
Figura 26 - Instalação vista interna "2"	51
Figura 27 - Instalação vista externa "1"	52
Figura 28 - Instalação vista externa "2"	52
Figura 29 - Teste de funcionamento.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comprimentos equivalentes.....	31
Tabela 2 – Análise dos dados coletados	38
Tabela 3 - Orçamentos fornecedores	44
Tabela 4 - Custos de instalação	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Registro de temperatura e umidade relativa (agosto)	36
Gráfico 2 – Registro de temperatura e umidade relativa (setembro).....	37
Gráfico 3 - Log de temperatura e umidade	54

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1: Perda de carga

EQUAÇÃO 2: Perda de carga unitária Flamant

EQUAÇÃO 3: Comprimento equivalente

EQUAÇÃO 4: Vazão

EQUAÇÃO 5: Fluxo de calor por convecção

EQUAÇÃO 6: Entalpia

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAG – Centro Universitário Assis Gurgacz

SD – Secure digital

PVC – Policloreto de Vinila

VDC – Voltage Direct Current

PSI – Libra força por polegada quadrada

CV – Cavalo-vapor

RPM – Rotações por minuto

UR – Umidade relativa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS.....	14
1.1.1. Objetivo geral.....	14
1.1.2. Objetivos específicos.....	15
1.2. JUSTIFICATIVA	15
1.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. PRODUÇÃO DE SUÍNOS.....	16
2.2. CARACTERÍSTICAS DA GRANJA.....	17
2.3. CLIMATIZAÇÃO	17
2.3.1. Nebulização.....	17
2.4. PSICROMETRIA.....	18
2.4.1. Ar.....	18
2.4.2. Temperatura de bulbo seco e bulbo úmido.....	19
2.4.3. Temperatura de ponto de orvalho	19
2.4.4. Pressão de vapor	19
2.4.5. Razão de mistura	19
2.4.6. Umidade relativa.....	20
2.4.7. Umidade absoluta.....	20
2.4.8. Umidade específica	20
2.4.9. Volume específico.....	20
2.4.10. Entalpia.....	20
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. ETAPA 1 – AQUISIÇÃO DE DADOS.....	21
3.1.1. Data Logger.....	21
3.1.2. Sensor de temperatura e umidade	23
3.1.3. Módulo RTC.....	24
3.1.4. Módulo SD.....	25
3.1.5. DISPLAY LCD.....	26
3.2. ETAPA 2 – INSTALAÇÃO DO SISTEMA.....	26

3.2.1.	Disposição da instalação	27
3.2.2.	Bicos nebulizadores.....	28
3.2.3.	Mangueiras.....	29
3.2.4.	Perda de carga	30
3.2.5.	Conjunto motobomba	33
3.3.	ETAPA 3 – COLETA E AVALIAÇÃO DE RESULTADOS	34
3.4.	CRITÉRIOS PARA SUSPENSÃO DA PESQUISA	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1.	ARDUINO.....	35
4.2.	AVALIAÇÃO DE TEMPERATURA.....	36
4.3.	TEMPO DE FUNCIONAMENTO	39
4.4.	INSTALAÇÃO DO SISTEMA	42
4.5.	VIABILIDADE FINANCEIRA.....	44
5.	CONCLUSÃO.....	46
5.1.	LIMITAÇÕES	46
5.2.	CONTRIBUIÇÕES.....	46
5.3.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
	REFERÊNCIAS.....	48
	APÊNCICE A – MOTOBOMBA HIDROMAR.....	49
	APÊNDICE B – INSTALAÇÃO DO SISTEMA.....	51
	APÊNDICE C – REGISTROS DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA	54

1. INTRODUÇÃO

A prática da suinocultura é uma atividade rural já consolidada no oeste do Paraná e em outras regiões do país. Ela é dividida em fases que iniciam com chiqueiros especializados em reprodução dos suínos e finalizam em chiqueiros de terminação, dos quais um será utilizado como local de aplicação da pesquisa deste trabalho.

Hoje os chiqueiros de terminação já possuem tecnologias de auxílio ao suinocultor, como sistemas de arração automático e dosadores de medicamentos diluídos em água. Entretanto, soluções focadas em reduzir a temperatura ambiente interna da granja são pouco estudadas e economicamente pouco viáveis.

Desta forma, a pesquisa visa estudar uma maneira de reduzir a temperatura ambiente a uma temperatura abaixo de 26°C, realizando um estudo com base no processo de resfriamento evaporativo via nebulizadores. Busca-se implantar um sistema que seja economicamente viável e eficaz, partindo da coleta de dados térmicos do ambiente pré-instalação e os analisando com os dados após a implantação do sistema.

A pesquisa em campo se iniciou em junho de 2020 com a coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar do ambiente interno do chiqueiro. Estas informações foram coletadas até o mês de julho de 2020, a fim de criar um histórico. Com este histórico criado foi possível determinar os períodos em que a temperatura interna possui os valores mais altos, então seria nestes períodos que o sistema de nebulização entraria em operação, este que seria aplicado entre os meses de agosto e outubro de 2020. Por fim uma avaliação seria realizada comparando os dados do ambiente com e sem o sistema em operação a fim de realizar a validação do projeto de pesquisa. Esperava-se que a temperatura interna da granja fosse reduzida e permanecesse no valor de temperatura de conforto entre 12°C e 26°C.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Estudar opção de sistema para redução da temperatura ambiente da granja a uma temperatura de conforto para o animal, abaixo de 26° C.

1.1.2. Objetivos específicos

Realizar aquisição de dados térmicos dos ambientes interno e externo da granja. Desenvolver e implantar sistema de resfriamento por meio de nebulizadores. Coletar e avaliar dados após a implantação do sistema.

1.2. JUSTIFICATIVA

Granjas de terminação são edificações rurais que alojam suínos em um estágio em que passam pelo processo de crescimento e engorda até atingir o peso desejado para o abate. Estas edificações carecem de sistemas de refrigeração viáveis, ou seja, não possuem processos de redução de temperatura sem que haja um controle e monitoramento humano durante todo o processo. Temperaturas que estejam diferentes da temperatura de conforto do animal prejudicam a produção, causando muitas vezes até o aumento no índice de mortalidade de uma granja.

A região oeste do Paraná, local onde a granja é situada, possui a classificação climática “cfa” de Köppen-Geiger, de acordo com o Atlas Climático do Paraná (2019). Ou seja, é uma região considerada de clima temperado chuvoso e moderadamente quente, úmido o ano todo, que possui um verão quente, com temperatura média acima de 22°C.

A temperatura de conforto para um suíno de terminação deve permanecer entre 12°C e 26°C de acordo com a EMBRAPA (2003). Logo, durante o verão, a região onde a granja é situada possui temperaturas médias acima da temperatura de conforto do animal, demandando um processo de resfriamento realizado, atualmente, de forma manual com mangueiras, alocando uma grande parcela do tempo disponível do produtor para que tal prática seja efetuada.

Considerando as informações da região onde a granja está situada e o ideal de edificação rural definido pela EMBRAPA, o estudo da climatização da instalação se demonstra importante para o aumento do conforto e qualidade do suíno, além de prover uma melhor rentabilidade ao produtor, visto que a taxa de mortalidade tende a diminuir.

1.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Utilizando um sistema de nebulização, como reduzir a temperatura ambiente de uma granja de suínos de terminação?

1.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será iniciada em junho de 2020 e se encerrará, aproximadamente, em outubro de 2020. Ela será realizada a partir de estudos práticos e teóricos a fim de reduzir a temperatura ambiente. A granja utilizada como local da pesquisa está localizada em Toledo, na região oeste do Paraná e possui seu sentido de construção de norte a sul, não sendo o ideal pois possui uma maior área de incidência de radiação solar durante o dia.

Busca-se, com esta pesquisa, reduzir a temperatura ambiente de uma seção de chiqueiro de terminação de 150m x 10m x 3,2m (Comprimento x Largura x Altura) por meio de nebulizadores.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PRODUÇÃO DE SUÍNOS

Na produção de suínos, em todos os seus estágios, busca-se atingir a maior rentabilidade possível, portanto muitos avanços com relação às edificações foram realizados nas últimas décadas, como arraçamento automático, dosadores de medicamentos, controle automático de cortinas, entre outros. Entretanto, surgiu a necessidade do estudo focado nos processos de redução da temperatura na edificação, a fim de melhorar o conforto do animal (CAMARGO, 2015).

De acordo com a Empresa brasileira de pesquisa agropecuária – EMBRAPA (2003), os suínos são animais homeotérmicos, ou seja, são capazes de regular sua própria temperatura corporal. No entanto, este mecanismo só é eficiente se a temperatura ambiente estiver dentro de um limite crítico, que para suínos de terminação é entre 12°C e 26°C – sua temperatura de conforto.

2.2. CARACTERÍSTICAS DA GRANJA

Características como localização, orientação, cobertura, pé direito e sombreamento são determinantes para a minimizar os efeitos do clima da região sob a temperatura ambiente, segundo a EMBRAPA (2003).

A classificação climática de Köppen-Geiger é baseada na distribuição da vegetação natural combinada com o clima característico para a região, de acordo com a Universidad de Chile (2016). Segundo o Atlas Climático do Paraná (2019), a região onde está instalada a edificação é considerada de clima temperado chuvoso e moderadamente quente, úmido o ano todo, que possui um verão quente, com temperatura média acima de 22°C.

2.3. CLIMATIZAÇÃO

Uma alternativa para realizar a redução da temperatura para que ela atinja seu limite de conforto é por meio do resfriamento evaporativo, o qual consiste em que a água evapore através de uma superfície mudando seu estado de líquido para vapor. A mudança de estado realiza a retirada de calor. À medida que o processo se encaminha, tanto a água quanto o ar se resfriam até que o estado do ar seja saturado. No Brasil os processos evaporativos consistem nos processos de *Pad cooling* e nebulização (ABREU, ABREU E MAZUCCO, 1999).

2.3.1. Nebulização

Processos de resfriamento por nebulização consistem em sistemas constituídos por: conjunto moto bomba, o qual é responsável por dar vazão à água do reservatório; Tubulações, divididas em linhas de suprimento, principal e nebulização, responsáveis por conduzir a água do reservatório ou fonte hídrica para o interior da granja e aos bicos nebulizadores; Nebulizadores, os quais têm como objetivo pulverizar a água proveniente da linha de nebulização da forma mais homogênea possível (ABREU, ABREU e MAZUCCO, 1999).

As gotas de água produzidas pelos nebulizadores devem possuir no máximo 10 microns de diâmetro, de acordo com Furlan (2001). Quanto menor o diâmetro da gota, maior a eficiência evaporativa do sistema. No entanto, há a necessidade de maior pressão na linha, entre 400 e 600psi, tornando o custo de instalação mais elevado (ABREU, ABREU e MAZUCCO, 1999).

A fim de aumentar a eficiência do sistema, acessórios como filtros, válvulas, manômetros, registros e suportes podem ser instalados (ABREU, ABREU e MAZUCCO,

1999). Outro fator a ser considerado na instalação é a altura dos nebulizadores em relação ao solo – quanto mais alto, maior será o diâmetro das gotas de água, reduzindo a eficiência evaporativa. (ABREU, ABREU e MAZUCCO, 1999).

O conjunto moto bomba deverá suprir tanto a maior pressão necessária quanto a maior vazão que o sistema demandará enquanto estiver em funcionamento (FIALHO, 2004). A escolha da bomba deverá levar em consideração o seu tipo: hidrodinâmica ou hidrostática. Na bomba hidrodinâmica o fluido captado de um reservatório em repouso ganha velocidade e consequentemente pressão, atendendo à demanda do sistema (FIALHO, 2004).

As tubulações das linhas de abastecimento devem ser dimensionadas de forma a ter a menor perda de carga possível. Para isso devemos determinar a velocidade recomendada com relação à pressão que será necessária na linha, podendo então, calcular o número de Reynolds, o qual determinará o tipo de escoamento do fluido na tubulação (FIALHO, 2004).

2.4. PSICROMETRIA

Para que a água altere seu estado de líquido para vapor – característica do sistema de resfriamento evaporativo – devemos analisar algumas propriedades do ar e da água, utilizando como recurso o diagrama psicrométrico (ÇENGEL e BOLES, 2013).

2.4.1. Ar

Ar seco é quando se remove todo o vapor de água, sendo, no final, uma mistura homogênea de nitrogênio, oxigênio, hidrogênio, argônio e dióxido de carbono (ÇENGEL e BOLES, 2013).

Vapor d'água, ou ar atmosférico, possui propriedades relacionadas à temperatura, título, volume específico e energia interna. As propriedades de temperatura são: temperatura do bulbo seco; temperatura do bulbo molhado e temperatura do ponto de orvalho. Relacionadas ao título da mistura: pressão de vapor, razão de mistura, umidade específica, umidade absoluta, umidade relativa e grau de saturação. Relacionadas ao volume específico e energia interna: volume específico em si e entalpia (SILVA et al, 2008).

2.4.2. Temperatura de bulbo seco e bulbo úmido

Temperatura de bulbo seco é a temperatura informada ou medida em um termômetro convencional. Temperatura de bulbo úmido é medida em um método convencional, posicionando um algodão úmido no bulbo de um termômetro padrão. A retirada de calor da água devido à evaporação resulta em uma temperatura menor que a temperatura de bulbo seco. Com ambas as temperaturas definidas podemos definir a umidade relativa do ar por meio das tabelas psicrométricas (SILVA et al, 2008).

2.4.3. Temperatura de ponto de orvalho

Ponto de orvalho é quando o excesso de umidade presente no ar se torna saturado, ou seja, ele passa por um processo de resfriamento, condensando-se em uma superfície mais fria (SILVA et al, 2008).

Durante períodos mais quentes a água é evaporada durante o dia, porém durante a noite, quando a temperatura é mais amena, a capacidade do ar de reter umidade é reduzida, formando pontos de orvalho nas superfícies (ÇENGEL e BOLES, 2013).

2.4.4. Pressão de vapor

A pressão de vapor possui uma relação de existência proporcional com a temperatura: quanto maior a temperatura, maior a quantidade de vapor d'água presente no ar. No ponto em que a maior quantidade de vapor é permitida temos vapor saturado, ou seja 100% de vapor; nesse caso a pressão de vapor também é a máxima possível (SILVA et al, 2008).

2.4.5. Razão de mistura

É a razão de mistura das massas de vapor d'água e ar seco em um dado volume de controle (BORGNAKKE e SONNTAG, 2013).

2.4.6. Umidade relativa

Relação entre a quantidade de umidade contida em uma massa de ar pela quantidade máxima de umidade que pode ser contida na massa de ar na mesma temperatura (ÇENGEL e BOLES, 2013). Ainda, segundo os autores, a umidade relativa tem relação com o conforto que sentimos em um determinado ambiente.

Segundo Silva et al. (2008), também pode ser considerada a razão entre pressão parcial de vapor e a pressão de saturação numa mesma temperatura.

2.4.7. Umidade absoluta

Razão entre massa de vapor d'água no ar e o volume ocupado pelo ar úmido (SILVA et al, 2008).

2.4.8. Umidade específica

Determinada pela quantidade de vapor d'água encontrada em massa de ar, por exemplo para o ar seco a umidade específica é 0, pois não contém vapor d'água em sua mistura. (ÇENGEL e BOLES, 2013).

2.4.9. Volume específico

Segundo Borgnakke e Sonntag (2013) volume específico é dado pela razão entre volume ocupado e sua massa. Também considerado o inverso da massa específica ou densidade.

2.4.10. Entalpia

Propriedade termodinâmica dada pela razão de energia calorífica e massa do sistema a uma determinada temperatura. Para o sistema evaporativo consideramos entalpia como a relação de energia contida no ar úmido pela massa de ar seco (SILVA et al, 2008).

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado com uma prática em campo, sendo esta uma pesquisa quantitativa. Buscou-se a aplicação de conceitos vistos na engenharia mecânica a fim de aprimorar a atividade de produção suína.

A aplicação deste trabalho foi dividida em 3 momentos distintos, durante o segundo semestre de 2020. O primeiro foi a aquisição de dados do local onde a prática é desenvolvida, passando pela execução da instalação de equipamentos e elementos auxiliares do sistema de refrigeração e finalizando a pesquisa com a coleta de dados durante o período de funcionamento, a fim de avaliar os resultados obtidos.

A instalação do sistema foi realizada pelo autor deste trabalho e contará com o auxílio de um operador, neste caso o próprio produtor, para que notifique anomalias no sistema durante o período de funcionamento.

O sistema contou com um conjunto motobomba, mangueira em PVC, bicos nebulizadores, materiais de fixação e um *data logger* de temperatura e umidade relativa do ar.

3.1. ETAPA 1 – AQUISIÇÃO DE DADOS

Para realizar o trabalho definiu-se uma seção de 12m x 10m x 3,2m (Comprimento x largura x altura) das dimensões totais da granja, representando um total de 6 baias de animais, para instalação dos sensores de temperatura e umidade. A leitura dos sensores foi realizada por uma placa Arduino UNO, e armazenada em um cartão SD. Esta aquisição de dados foi realizada entre agosto e setembro de 2020 com a granja alojando suínos durante este período.

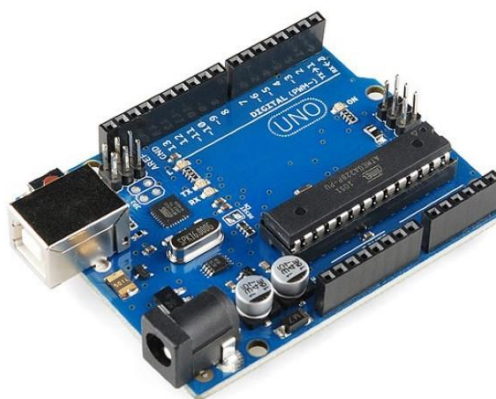
Com o levantamento do histórico das medidas de temperatura e umidade do ar concluído, realizou-se uma avaliação dos períodos do dia em que a temperatura medida tem valor mais elevado. Com isso determinou-se os momentos em que o sistema de nebulização deverá ser acionado, e a vazão necessária para realizar a troca térmica suficiente para realizar a redução de temperatura.

3.1.1. Data Logger

Data logger é um dispositivo utilizado para armazenar os dados de temperatura e humidade realizadas por sensores conectados ao mesmo.

Para realizar a operação de leitura e armazenamento dos dados, foi selecionado uma placa Arduino UNO R3. A praticidade em desenvolver um código baseado em uma programação C++, de forma gratuita, que realize diversas operações dentro do processo de climatização, além do baixo custo, foi o fator determinante na escolha deste equipamento.

Figura 1 – Arduino UNO R3



Fonte: Fornecedor Filipeflop, 2020

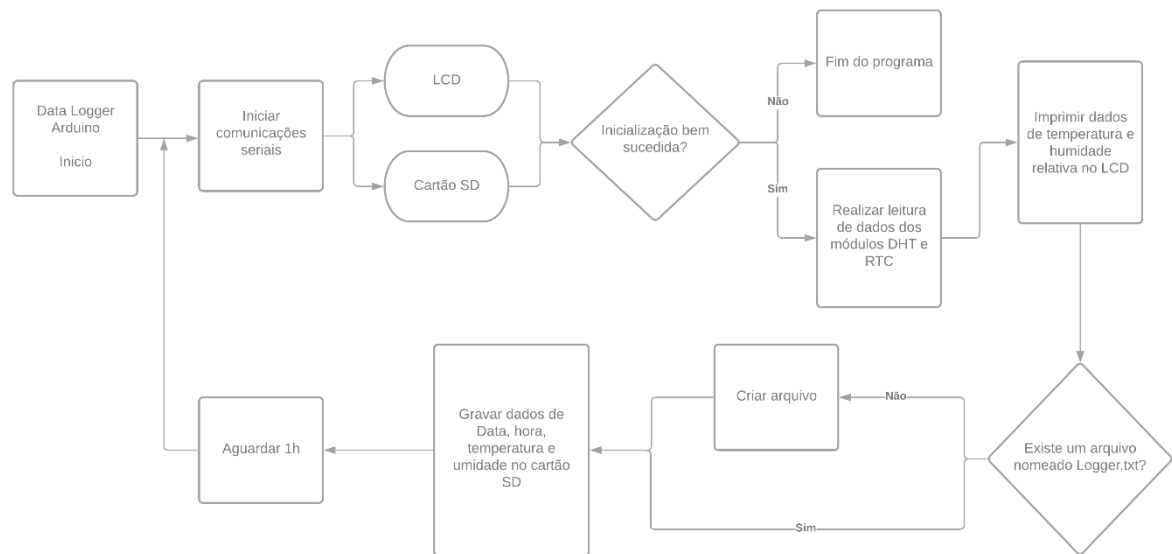
A placa é alimentada por uma fonte 12VDC bivolt, a qual está conectada à instalação elétrica da granja.

Figura 2 - Fonte de alimentação



Fonte: Fornecedor Filipeflop, 2020

O controlador realizou a leitura dos sensores a cada 1h, armazenando os dados em um cartão SD, seguindo o seguinte fluxo:

Figura 3 - Fluxograma Data Logger

Fonte: O autor, 2020

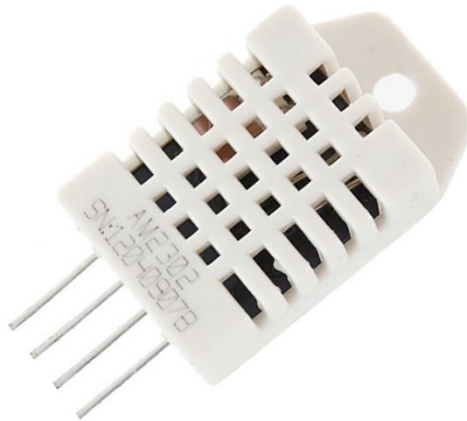
3.1.2. Sensor de temperatura e umidade

Para realizar as medições de temperatura de bulbo seco e umidade relativa, foi utilizado o sensor DHT22. Ele é formado por um sensor de umidade capacitivo e um termistor para medir a temperatura do ar ao redor, enviando os dados de forma digital à placa controladora.

A seguir as especificações do mesmo:

- Faixa de medição de umidade: 0 a 100% UR;
- Faixa de medição de temperatura: -40° a 80°C;
- Precisão de medição de umidade: $\pm 2,0\%$ UR;
- Precisão de medição de temperatura: $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Figura 4 - Sensor DHT22



Fonte: Fornecedor Filipeflop, 2020

3.1.3. Módulo RTC

Para que o controlador entenda os horários em que deve realizar a medição dos dados e armazená-los, foi adicionado o módulo *Real Time Clock (RTC)*, modelo DS3231. Este dispositivo fornece as variáveis de data e horário para a programação e possibilita que caso haja um desligamento de energia elétrica do controlador, ele mantenha estes parâmetros sem alteração.

Figura 5 - Módulo RTC



Fonte: Fornecedor Filipeflop, 2020

3.1.4. Módulo SD

Para que os dados sejam armazenados, para análise posterior, foi utilizado um módulo de cartão SD. Este dispositivo permite que seja inserido um cartão SD, de formato FAT 32 (*File Allocation Table*), no qual será criado um arquivo nomeado *logger.txt* onde os dados lidos pelo controlados serão armazenados.

Figura 6 - Módulo SD



Fonte: Fornecedor Filipeflop, 2020

Figura 7 - Arquivo *logger*

LOGGER - Bloco de Notas			
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda			
DATA	HORA	TEMPERATURA	UMIDADE
06/08/2020	07:00:00	21.8°C	52.5 %
06/08/2020	08:00:00	21.7°C	52.9 %
06/08/2020	09:00:00	22.3°C	53.5 %
06/08/2020	10:00:00	22.4°C	55.0 %
06/08/2020	11:00:00	22.6°C	55.2 %
06/08/2020	12:00:00	22.7°C	53.3 %
06/08/2020	13:00:00	23.5°C	44.9 %
06/08/2020	14:00:00	24.1°C	43.3 %
06/08/2020	15:00:00	24.5°C	40.3 %
06/08/2020	16:00:00	24.8°C	38.5 %
06/08/2020	17:00:00	24.8°C	39.4 %
06/08/2020	18:00:00	23.1°C	50.3 %
06/08/2020	19:00:00	22.6°C	52.5 %
06/08/2020	20:00:00	22.4°C	52.6 %
06/08/2020	21:00:00	22.1°C	54.3 %
06/08/2020	22:00:00	21.8°C	54.7 %
Ln 17, Col 22 100% Windows (CRLF) UTF-8			

Fonte: O autor, 2020

3.1.5. DISPLAY LCD

Para que o operador possa realizar a visualização em tempo real da temperatura e umidade relativa, foi utilizado um display LCD 16x2 (Colunas x linhas).

Figura 8 – LCD 16x2



Fonte: Fornecedor Filipeflop, 2020

3.2. ETAPA 2 – INSTALAÇÃO DO SISTEMA

Com a determinação das mangueiras e dos modelos de bicos nebulizadores a serem utilizados, podemos verificar os parâmetros necessários para o conjunto motobomba, de modo que este supra a necessidade do sistema.

O conjunto foi instalado a partir de um reservatório de água próximo à granja, utilizando mangueiras de PVC, com diâmetro a ser determinado de acordo com a vazão necessária. O sistema forneceu água aos bicos nebulizadores instalados nas laterais da granja, de forma com que os jatos de água sejam lançados de maneira horizontal com sentido ao interior da edificação.

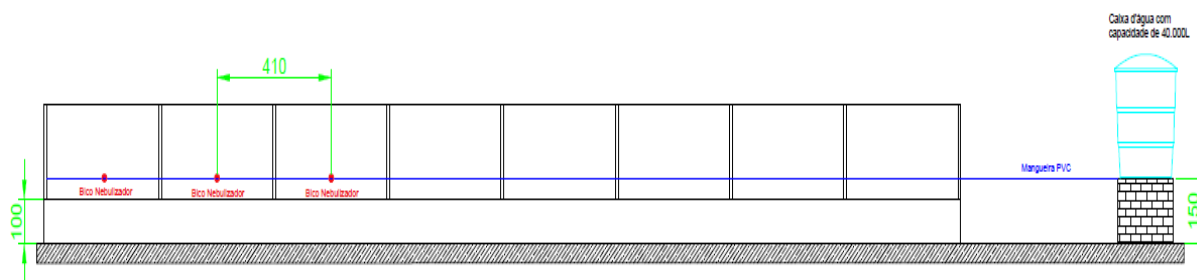
O acionamento do sistema é realizado manualmente, todos os dias, nos horários especificados com base no histórico de temperatura, pelo operador. O desligamento do sistema também é de sua responsabilidade.

O controlador utilizado na primeira etapa permaneceu instalado, efetuando a aquisição dos mesmos dados coletados anteriormente, porém agora com o sistema em operação, a fim de prover um histórico de informações.

3.2.1. Disposição da instalação

Os bicos foram instalados a uma altura de 1,5m em relação ao solo da construção, e com um espaçamento de 4,1m entre eles, permitindo então a instalação de 1 bico nebulizador a cada baia de animais.

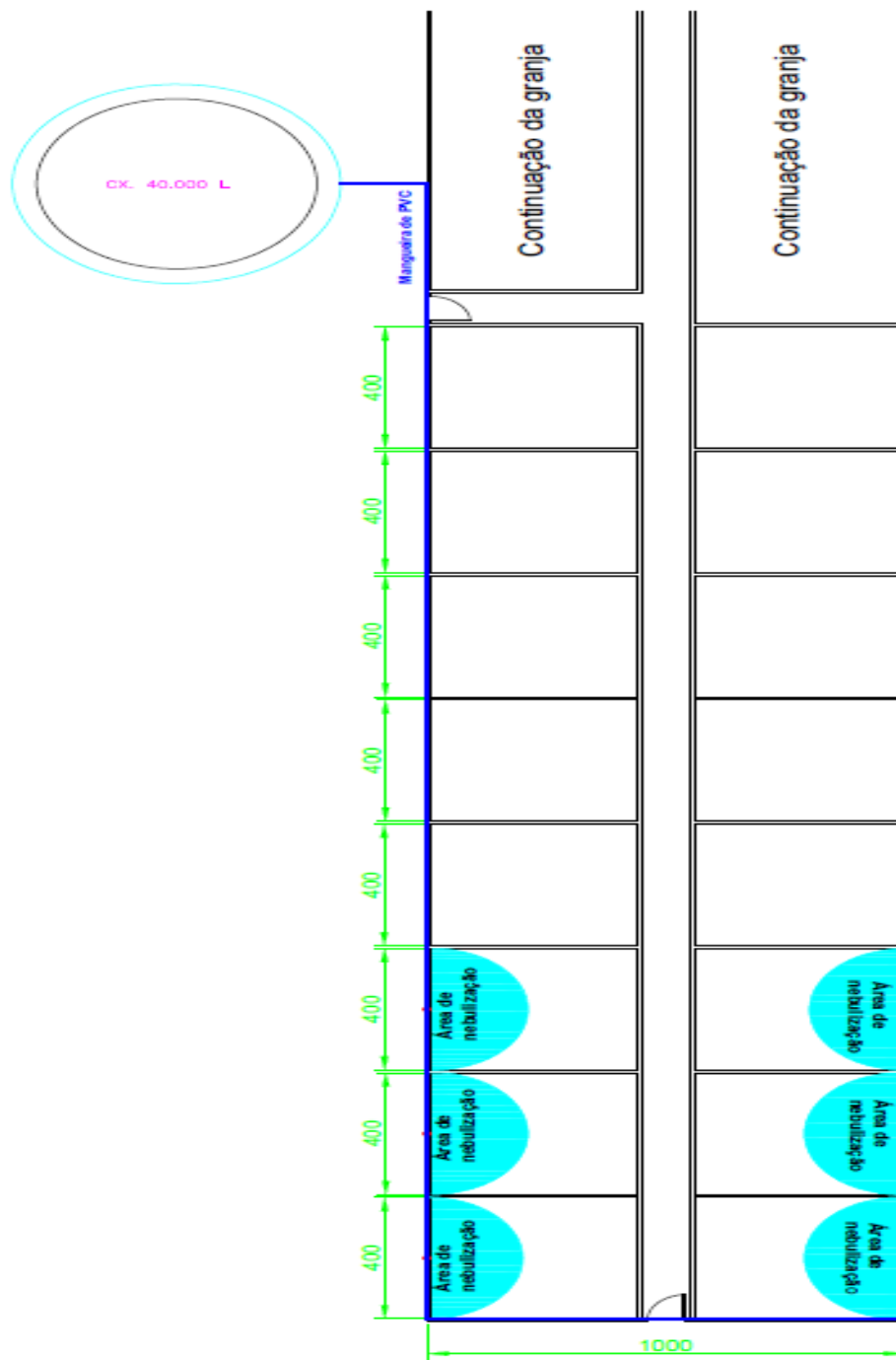
Figura 9 - Disposição dos nebulizadores (Vista lateral)



Fonte: O autor, 2020

Para atingir a área de 6 baias de animais, os nebulizadores estão dispostos de forma oposta, sendo 3 em cada lado, conforme imagem a seguir:

Figura 10 - Disposição dos nebulizadores (Vista Superior)



Fonte: O autor, 2020

3.2.2. Bicos nebulizadores

Os bicos nebulizadores são os dispositivos responsáveis por projetar o fluido em forma de névoa. O bico escolhido possui uma pressão de trabalho de 450PSI e uma conexão de 16mm,

contendo também um filtro anti-entupimento, diafragma anti-gotas e seu bico de nebulização em inox.

Figura 11 - Bico nebulizador



Fonte: Fornecedor Pulvespley, 2020

Além disso, possui as seguintes características:

- Pressão de trabalho: até 450PSI
- Vazão: 7 L/h
- Raio do leque de nebulização: 2m

Considerando a quantidade e disposição de 6 nebulizadores, teremos uma vazão total de 42L/h.

3.2.3. Mangueiras

As mangueiras utilizadas no sistema são maleáveis de PVC, por conta da facilidade na instalação, com diâmetro de 1/2", atendendo ao diâmetro do nebulizador. Conforme a descrição no corpo da mangueira, elas suportam até 300PSI de pressão de trabalho.

Figura 12 - Mangueira PVC



Fonte: Fornecedor Casa das mangueiras e borrachas, 2020

Figura 13 - Seção circular da mangueira



Fonte: Fornecedor Casa das mangueiras e borrachas, 2020

3.2.4. Perda de carga

Para determinarmos a pressão de trabalho necessária para o conjunto motobomba, foi necessário calcular primeiramente a perda de carga ao longo da tubulação do sistema. Sendo assim, segundo Fialho (2004) utilizamos a seguinte expressão para o cálculo:

$$hf = Lf \times J \quad (1)$$

Onde:

- hf = Perda de carga distribuída [m.c.a]
- Lf = Comprimento da tubulação [m]
- J = Perda de carga unitária [m.c.a/m]

Considerando a temperatura ambiente e um diâmetro de 12,5mm a 100mm, para um cano de PVC, tem-se pelo método de Flamant a seguinte expressão:

$$J = 0,00826 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (2)$$

Onde:

- Q = Vazão [m^3/s]
- D = Diâmetro do tubo [m]

Desta forma temos:

$$J = 0,00826 \times \frac{(1,1667 \times 10^{-5})^{1,75}}{(12 \times 10^{-3})^{4,75}}$$

$$J = 0,00255 \left[\frac{m.c.a}{m} \right]$$

Para o comprimento da tubulação, utilizamos o método de comprimentos equivalentes, considerando as seguintes singularidades:

- 4 – Curvas 45°
- 2 – Curvas 90° curtas

Como a fornecedora dos bicos nebulizadores não possui a informação de perda de carga para cada bico, não os consideramos no cálculo.

Considerando a tabela a seguir, temos o seguinte comprimento equivalente de tubulação:

Tabela 1 – Comprimentos equivalentes

Diâmetro		Cotovelo 90° R. Longo	Cotovelo 90° R. Médio	Cotovelo 90° R. Curto	Cotovelo 45°	Curva 90° R. Longo	Curva 90° R. Curto	Curva 45°
Cm	Pol.	Comprimento equivalente - L_2 (Cm)						
0,32	1/8	10,01	10,01	10,01	10,01	10,01	10,01	10,01
0,64	1/4	19,99	20,24	30,00	10,01	10,01	19,99	10,01
0,95	3/8	19,99	30,00	40,01	19,99	19,99	19,99	19,99
1,27	1/2	30,00	40,01	50,01	19,99	19,99	30,00	19,99
1,59	5/8	30,00	50,01	59,99	19,99	19,99	30,00	19,99
1,91	3/4	40,01	59,99	70,00	30,00	30,00	40,01	19,99
2,22	7/8	40,01	59,99	70,00	30,00	30,00	40,01	40,01
2,54	1	50,01	70,00	80,01	40,01	30,00	50,01	19,99
2,86	1.1/8	60,02	80,01	100,00	50,01	40,01	59,99	30,00
3,18	1.1/4	70,00	89,99	110,01	50,01	40,01	59,99	30,00
3,49	1.3/8	80,01	100,00	119,99	59,99	50,01	69,85	30,00
3,81	1.1/2	88,58	110,01	181,18	59,99	50,01	69,85	30,00
4,13	1.5/8	100,00	119,99	140,00	70,00	50,01	80,01	30,00
4,45	1.3/4	108,28	130,00	150,01	70,00	59,99	80,01	40,01
4,76	1.7/8	110,01	130,00	159,99	83,16	59,99	89,99	40,01
5,08	2	108,28	140,00	170,00	83,16	59,99	84,91	40,01
0,32	1/8	10,01	30,00	30,00	10,01	80,01	70,00	89,99
0,64	1/4	10,01	50,01	50,01	10,01	240,00	130,00	180,01
0,95	3/8	19,99	80,01	80,01	10,01	370,00	200,00	270,00
1,27	1/2	30,00	100,00	100,00	10,01	489,99	259,99	359,99
1,59	5/8	30,00	119,99	119,99	10,01	580,01	310,01	459,99
1,91	3/4	40,01	140,00	140,00	10,01	670,00	436,19	559,99

Fonte: Fialho, 2004

$$L_f = L_{real} + (L_1 + L_2 + \dots + L_n) \quad (3)$$

Onde:

- L_{real} = Comprimento da tubulação [m]
- L_n = Comprimento equivalente [m]

$$L_f = 100 + (4 \times 0,1999) + (2 \times 0,30)$$

$$L_f = 101,3996 \text{ [m]}$$

Portanto, há uma perda de carga de:

$$hf = 101,3996 \times 0,00255$$

$$hf = 0,2585 \text{ [m.c.a]} \text{ ou } 0,3674 \text{ [PSI]}$$

3.2.5. Conjunto motobomba

O conjunto motobomba é responsável por colocar o sistema em funcionamento. Foi utilizada uma bomba disponibilizada pelo produtor, modelo Hidromar BH6100, com as seguintes características:

- Motor: 2CV – Polos
- Pressão de trabalho: 400 PSI
- Vazão: 1560 L/h
- Rotação do motor: 1740 RPM
- Rotação da bomba: 470 RPM

Figura 14 – Modelo bomba Hidromar



Fonte: Fornecedor Hidromar, 2020

Portanto, considerando que os bicos necessitam de uma pressão de até 450PSI, que a mangueira suporta 300PSI, e uma perda de carga de 0,3674PSI, a bomba se adequa à pressão de trabalho a ser utilizada.

Ainda, considerando a vazão necessária para os bicos nebulizadores de 42L/h, a bomba também atende à demanda de vazão dos bicos.

3.3. ETAPA 3 – COLETA E AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Os dados foram coletados com o sistema em funcionamento durante o período de agosto a outubro de 2020.

A avaliação do sistema se fez a em um comparativo com as leituras diárias antes e depois de o sistema entrar em operação, além de traçar um paralelo com os dados coletados antes do sistema ser instalado no local.

Com isso é possível verificar a eficiência do sistema, o percentual de variação de temperatura, além da validação do mesmo.

3.4. CRITÉRIOS PARA SUSPENSÃO DA PESQUISA

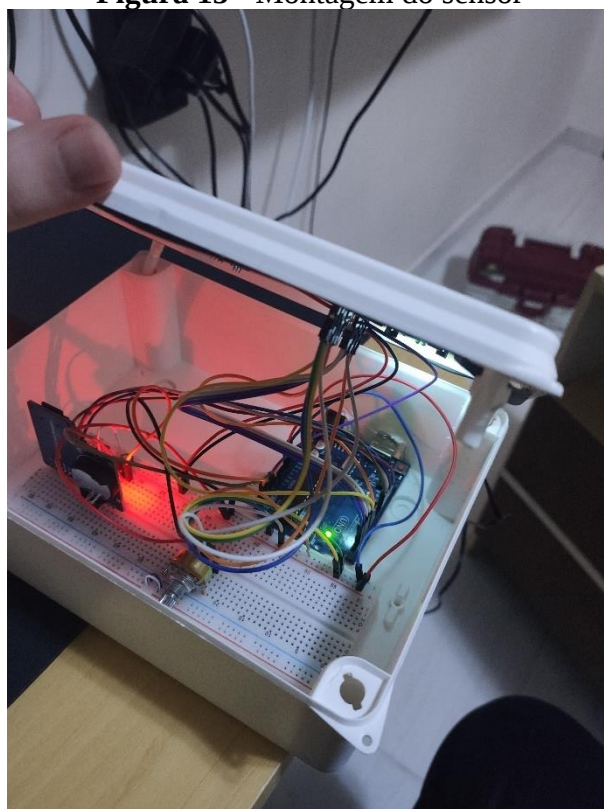
Algumas situações devem ser consideradas para que a pesquisa seja suspensa, são elas: falta de suínos alojados na granja, alteração no tipo de suíno alojado (Por exemplo: suíno de terminação para matrizes), escassez temporária de recursos hídricos, fatores externos que afetem a estrutura da granja.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ARDUINO

O controlador foi montado em um caixa de PVC vedada com borracha e instalado a uma altura de 1,5m em relação ao solo, a mesma altura em que os nebulizadores serão instalados.

Figura 15 - Montagem do sensor



Fonte: O autor, 2020

Figura 16 - Posicionamento do sensor



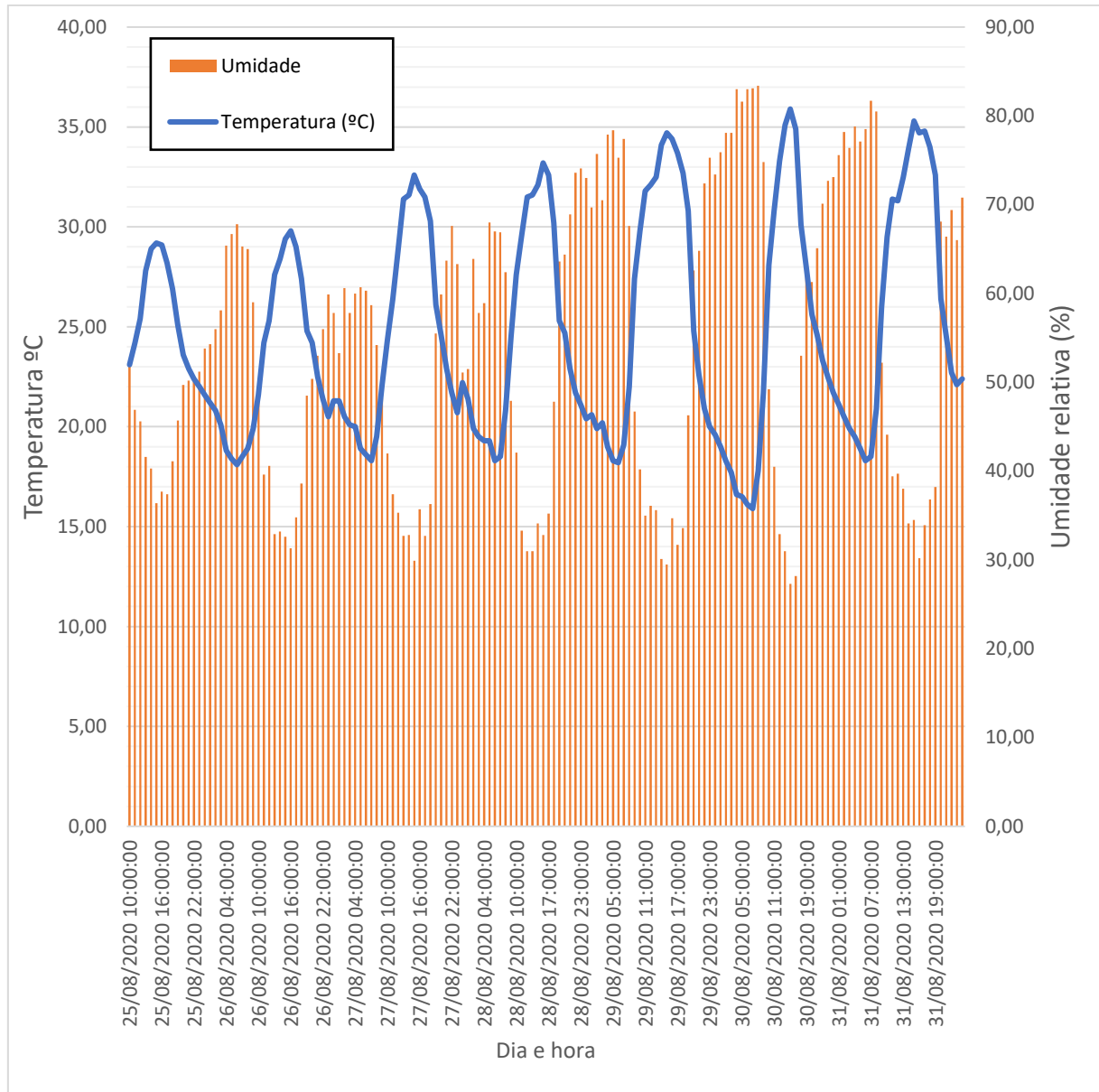
Fonte: O autor, 2020

4.2. AVALIAÇÃO DE TEMPERATURA

A coleta dos dados de temperatura e umidade relativa se iniciou no dia 25 de agosto de 2020 e, para análise dos dados, encerrou-se no dia 25 de setembro de 2020, porém o sensor manteve-se ativo no local coletando dados.

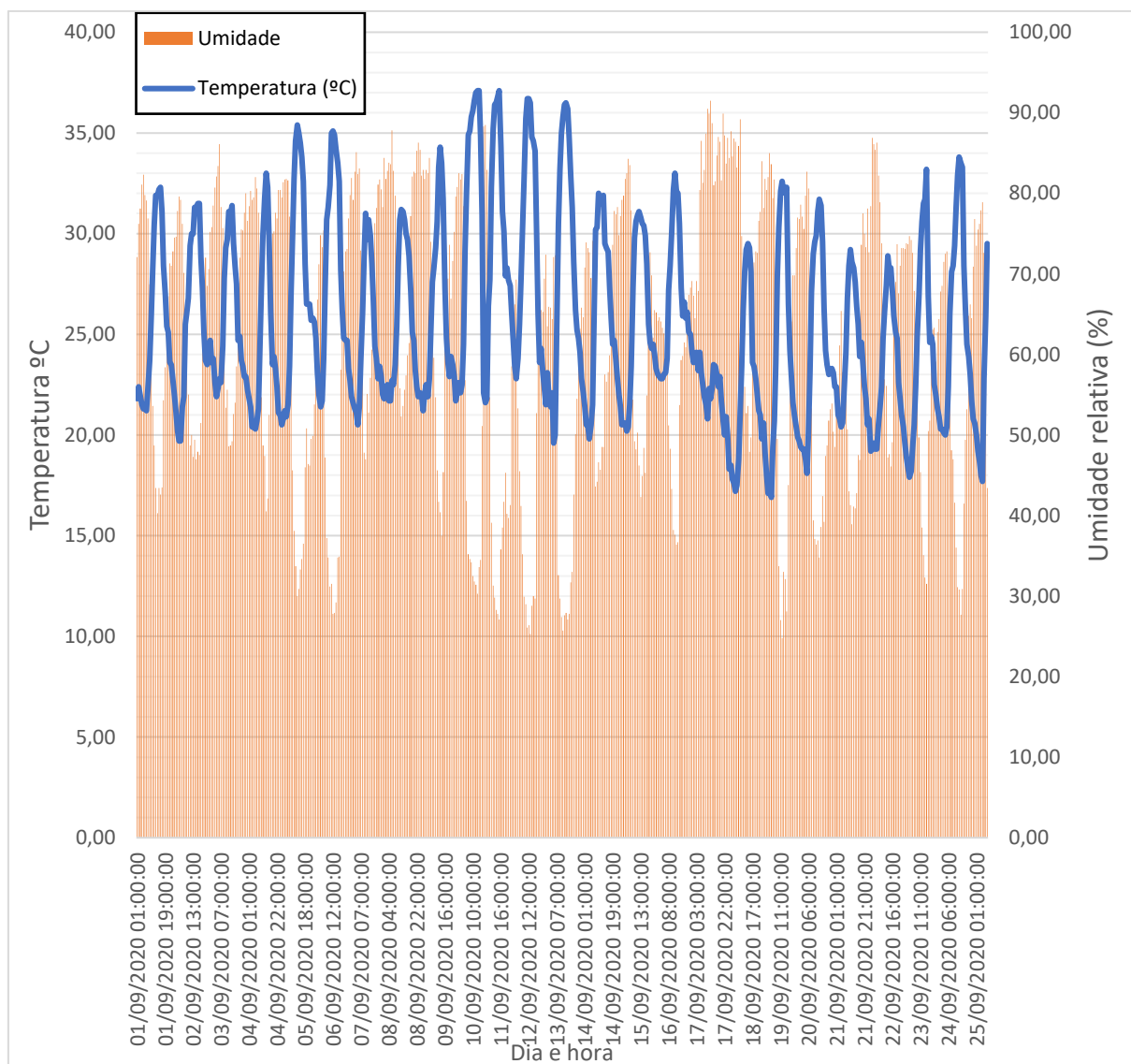
Com este período de análise, chegamos aos seguintes resultados:

Gráfico 1 – Registro de temperatura e umidade relativa (agosto)



Fonte: O autor, 2020

Gráfico 2 – Registro de temperatura e umidade relativa (setembro)



Fonte: O autor, 2020

Com a análise dos dados coletados, tem-se que:

Tabela 2 – Análise dos dados coletados

Temperatura °C		Humidade Relativa %	
Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
25,47	4,952331603	59,95	17,59452743
Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
37,1	15,9	91,5	24,8

Fonte: O autor, 2020

Além disso, nota-se que os horários em que a temperatura se encontra mais elevada, são entre as 15h e 16h.

4.3. TEMPO DE FUNCIONAMENTO

Para determinar o tempo de funcionamento do sistema, consideramos o valor limite ideal de temperatura determinado pela EMBRAPA de 26°C e os valores extremos de cada variável, sendo para temperatura = 37,1°C e para umidade relativa 24,80%.

Sendo assim, segundo Çengel (2012), temos que:

$$m = \frac{Q}{c_p \times \Delta T \times \rho} \quad (4)$$

Onde:

- m = Vazão [m³/h]
- Q = Fluxo de calor [kJ/h]
- c_p = Calor específico [kJ/kg*K]
- ΔT = Variação de temperatura [°C]
- ρ = Densidade do fluido [kg/m³]

Para determinar o fluxo de calor, consideramos a troca de calor por convecção:

$$Q = h \times A \times \Delta T \quad (5)$$

Onde:

- h = Entalpia [kJ/kg]
- A = Área da superfície de nebulização [m²]
- ΔT = Variação de temperatura [°C]

Para determinação da entalpia, utilizamos a expressão determinada por Villa Nova (1999), citada por Furlan (2001), em que:

$$h = 6,7 + 0,243 * T + 2,216 * \left(\frac{UR}{100} * 10^{\frac{7,5 * T}{237,3 + T}} - 1 \right) \quad (6)$$

Onde:

- h = Entalpia [kcal/kg]
- T = Temperatura de bulbo seco [°C]
- UR = Umidade relativa do ar [%]

Sendo assim:

$$h = 6,7 + 0,243 * 37,1 + 2,216 * \left(\frac{24,80}{100} * 10^{\frac{7,5*37,1}{237,3+37,1}} - 1 \right)$$

$$h = 19,1754 \left[\frac{kcal}{kg} \right] \text{ ou } 80,2836 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$A = \frac{\pi \times r^2 \times 6}{2}$$

$$A = \frac{\pi \times 2^2 \times 6}{2}$$

$$A = 37,69 [m^2]$$

$$Q = 80,2836 \times 37,69 \times (37,1 - 26)$$

$$Q = 33.587,36 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Figura 17 - Propriedades da água

TABELA A-3

Propriedades de líquidos, sólidos e alimentos comuns

(a) Líquidos

Substância	Dados de ebulição a 1 atm		Dados de solidificação		Propriedades dos líquidos		
	Ponto normal de ebulição, °C	Calor latente de vaporização h_{fg} , kJ/kg	Ponto de solidificação, °C	Calor latente de fusão h_{sf} , kJ/kg	Temperatura, °C	Densidade ρ , kg/m ³	Calor específico c_p , kJ/kg·K
Amônia	-33,3	1.357	-77,7	322,4	-33,3	682	4,43
					-20	665	4,52
					0	639	4,60
					25	602	4,80
Argônio	-185,9	161,6	-189,3	28	-185,6	1.394	1,14
Benzeno	80,2	394	5,5	126	20	879	1,72
Salmoura (20% de cloreto de sódio em massa)	103,9	—	-17,4	—	20	1.150	3,11
<i>n</i> -Butano	-0,5	385,2	-138,5	80,3	-0,5	601	2,31
Dióxido de carbono	-78,4*	230,5 (em 0 °C)	-56,6	—	0	298	0,59
Etanol	78,2	838,3	-114,2	109	25	783	2,46
Alcool etílico	78,6	855	-156	108	20	789	2,84
Etilenoglicol	198,1	800,1	-10,8	181,1	20	1.109	2,84
Glicerina	179,9	974	18,9	200,6	20	1.261	2,32
Hélio	-268,9	22,8	—	—	-268,9	146,2	22,8
Hidrogênio	-252,8	445,7	-259,2	59,5	-252,8	70,7	10,0
Isobutano	-11,7	367,1	-160	105,7	-11,7	593,8	2,28
Querosene	204-293	251	-24,9	—	20	820	2,00
Mercúrio	356,7	294,7	-38,9	11,4	25	13.560	0,139
Metano	-161,5	510,4	-182,2	58,4	-161,5	423	3,49
					-100	301	5,79
Metanol	64,5	1.100	-97,7	99,2	25	787	2,55
Nitrogênio	-195,8	198,6	-210	25,3	-195,8	809	2,06
					-160	596	2,97
Octano	124,8	306,3	-57,5	180,7	20	703	2,10
Óleo (leve)					25	910	1,80
Oxigênio	-183	212,7	-218,8	13,7	-183	1.141	1,71
Petróleo	—	230-384			20	640	2,0
Propano	-42,1	427,8	-187,7	80,0	-42,1	581	2,25
					0	529	2,53
					50	449	3,13
Refrigerante-134a	-26,1	217,0	-96,6	—	-50	1.443	1,23
					-26,1	1.374	1,27
					0	1.295	1,34
					25	1.207	1,43
Água	100	2.257	0,0	333,7	0	1.000	4,22
					25	997	4,18
					50	988	4,18
					75	975	4,19
					100	958	4,22

* Temperatura de sublimação. (A pressões abaixo da pressão do ponto triplo de 518 kPa, o dióxido de carbono existe como um sólido ou um gás. Da mesma forma, a temperatura do ponto de solidificação do dióxido de carbono é a temperatura de ponto triplo, -56,5 °C.)

Fonte: Çengel, 2013

Considerando uma temperatura ambiente de 25°C para água, temos que:

$$m = \frac{33587,36}{4,18 \times (37,1 - 26) \times 997}$$

$$m = 0,7260 \left[\frac{m^3}{h} \right] \text{ ou } 726,07 \left[\frac{L}{h} \right]$$

Tendo em vista que a vazão da bomba é de 26 L/h, temos que o tempo necessário de funcionamento do sistema, para que a temperatura reduza de 37,1°C para 26°C, com uma umidade relativa de 24,80%, será de aproximadamente 28 horas.

Contudo, a quantidade de recurso hídrico disponível é um fator determinante, definimos então, que o sistema operará entre as 15h e 17h diariamente.

4.4. INSTALAÇÃO DO SISTEMA

A instalação das mangueiras e bicos nebulizadores foi realizada pelo autor deste trabalho, com o auxílio do produtor, e levou em torno de 2 dias para ser finalizada.

As mangueiras flexíveis facilitaram seu posicionamento em relação a um tubo de PVC rígido, porém o formato de fixação dos bicos nas mangueiras não fazia com que a conexão ficasse completamente vedada, gerando vários vazamentos que necessitaram de correção.

As mangueiras foram fixadas com abraçadeiras plásticas a cada 1m, deixando uma “barriga” para que dilatações e contrações do material pudessem ocorrer sem obstruções.

Figura 18 - Instalação das mangueiras



Fonte: O autor, 2020

Figura 19 - Bico nebulizador instalado



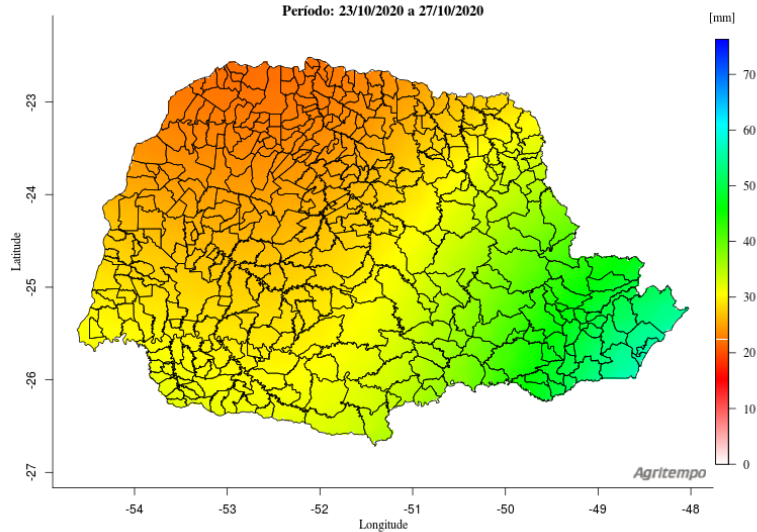
Fonte: O autor, 2020

No entanto, a indisponibilidade de água no local vem impedindo que o sistema seja posto em funcionamento, sendo assim, não foi possível avaliar se o sistema foi efetivo até o momento.

Figura 20 – Disponibilidade de água no solo

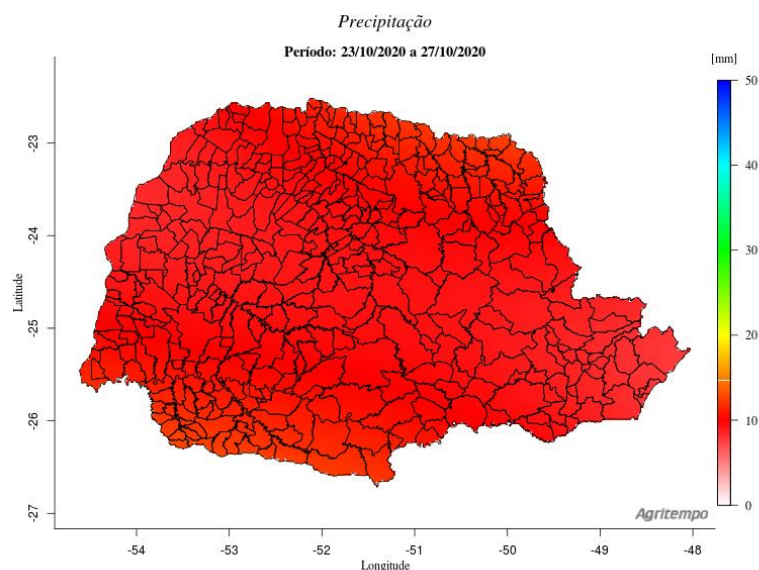
Disponibilidade de Água no Solo (Média do Período)

Período: 23/10/2020 a 27/10/2020



Fonte: Agritempo, 2020

Figura 21 – Precipitação



Fonte: Agritempo, 2020

4.5. VIABILIDADE FINANCEIRA

O trabalho propôs a entrega de um sistema que fosse economicamente viável para o produtor, sendo assim, foi realizada a pesquisa com prestadoras de serviço da região a respeito do valor de instalação e material para um sistema semelhante, chegando aos seguintes resultados:

Tabela 3 - Orçamentos fornecedores

Fornecedor 1	Fornecedor 2
R\$5.873,65	R\$5.610,42

Fonte: O autor, 2020

A fim de comparar os gastos, segue projeção de custos para que o sistema seja instalado na totalidade da granja.

Tabela 4 - Custos de instalação

Item	Quantidade	Valor unitário	Valor Total
Mangueira de PVC ½" (100m)	3	R\$394,80	R\$1.184,40

Bicos nebulizadores Pulvespley 1/2” 450PSI	75	R\$23,00	R\$1.725,00
Acessórios de fixação e instalação	1	R\$100,00	R\$100,00
VALOR TOTAL			R\$3.009,40

Fonte: O autor, 2020

Sendo assim, o sistema proposto obteve um resultado entre 46,36% e 48,76% mais barato que os sistemas oferecidos pelo mercado regional.

5. CONCLUSÃO

A falta de sistemas de controle de temperatura que sejam desenvolvidos com foco na suinocultura, e que sejam economicamente viáveis, faz com que as operações para este controle sejam realizadas somente com a regulação da cortina, limitando assim o fluxo de ar no interior da granja. Portanto verificou-se que a instalação de um sistema de refrigeração de baixo custo, por conta da alta tolerância a oscilações de temperatura do animal, deve permitir que a temperatura interna fique dentro do limite de conforto do animal, melhorando assim sua qualidade de vida, e então gerando uma maior rentabilidade para o produtor.

O desenvolvimento do sensor com uma interface LCD que demonstra os dados de temperatura e umidade relativa na primeira etapa da metodologia permitiu que o produtor possa acompanhar os níveis destas variáveis em tempo real, então proporcionando que o técnico extensionista que acompanha a produção possa realizar uma análise mais apurada de intervenções que possam ser realizadas para melhorar a qualidade de conforto do animal.

Contudo, a escassez de recursos hídricos no período proposto para a elaboração desta pesquisa não permitiu que o sistema fosse posto em funcionamento, impossibilitando assim a análise de desempenho da redução da temperatura interna da granja.

5.1. LIMITAÇÕES

Além da escassez de recursos hídricos, as mangueiras de PVC proporcionaram uma montagem simplificada, entretanto sua maleabilidade não permitiu que as conexões dos bicos de nebulização com a mangueira ficassem completamente vedadas, ocasionando vários vazamentos nas seções próximas aos bicos, assim necessitando que fosse realizado o reparo em todas estas conexões, desta vez com outros elementos de vedação.

O posicionamento dos bicos na lateral da granja resultou em uma área de nebulização menor com relação à instalação suspensa, assim reduzindo a capacidade de troca de calor do sistema.

5.2. CONTRIBUIÇÕES

Este trabalho contribuiu para a compreensão dos níveis de criticidade da temperatura interna, verificando que a mesma por vezes se encontra até em torno de 10°C acima do limite crítico para o animal, aumentando assim a importância em colocar um sistema de refrigeração em funcionamento.

Para o meio acadêmico, esse trabalho contribui como uma forma de incentivo a discentes de maneira a qual estes busquem identificar problemas que com sua solução possam vir a impactar diretamente o produtor de forma positiva.

5.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nessa pesquisa, seguem as seguintes propostas para trabalhos futuros:

- Desenvolvimento via Arduino de um controlador integrado que faça o acionamento automatizado do sistema;
- Análise de um sistema semelhante operando em baixa pressão (50PSI)
- Desenvolvimento de um sistema de captação de água pluviométrica para abastecimento do sistema;
- Combinar o sistema evaporativo por nebulização com um sistema de ventilação forçada;
- Desenvolvimento de um sistema semelhante com tubos de PVC.

Sendo assim, a implantação destas melhorias deve resultar em um sistema mais eficiente e viável, proporcionando um melhor controle do ambiente de produção de suínos na fase de terminação.

REFERÊNCIAS

ABREU, P.G. de; ABREU, V.M.N.; MAZZUCO, H. **Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1999.

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da termodinâmica**: tradução da 8ª edição norte-americana. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

CAMARGO, Tiago Francisconi Borges. **Determinação de distribuição de temperatura em aviário utilizando fluidodinâmica computacional e sistema de medição com arduino**. 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Uem, Maringá, 2015.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre: Amgh, 2013.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transcência de Calor e Massa**. 4. ed. Porto Alegre: Amgh, 2012.

EMBRAPA (org.). **Produção de suínos**: EMBRAPA Construções. 2003. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/suinos/construcao.html#topo>. Acesso em: 24 mar. 2020.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação hidráulica**: projetos, dimensionamento e análise de custos. 2. ed. São Paulo: Erica, 2004.

FURLAN, Raquel Aparecida. **Avaliação da nebulização e abertura de cortinas na redução da temperatura do ar em ambiente protegido**. 2001. 160 f. Te (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrônoma, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

MASTER WALKER. **Mergulhando no mundo Arduino**. 1. Ed. Belo Horizonte. 2011

NITSCHKE, Pablo Ricardo et al. **Atlas Climático do Paraná**. 2019. Disponível em: <http://www.iapar.br/pagina-677.html>. Acesso em: 24 mar. 2020.

SILVA, Juarez de Sousa e et al. **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. 2. ed. Viçosa - Mg: Aprenda Fácil, 2008.

UNIVERSIDAD DE CHILE (Chile) (org.). **Clasificación Climática de Koppen**. Disponível em: http://www.gep.uchile.cl/Biodiversidad/medio_fisico/clima_03.html. Acesso em: 22 abr. 2020.

APÊNCICE A – MOTOBOMBA HIDROMAR

Figura 22 - Motor elétrico bomba



Fonte: O autor, 2020

Figura 23 – Filtro da bomba



Fonte: O autor, 2020

Figura 24 - Bomba Hidromar BH6100



Fonte: O autor, 2020

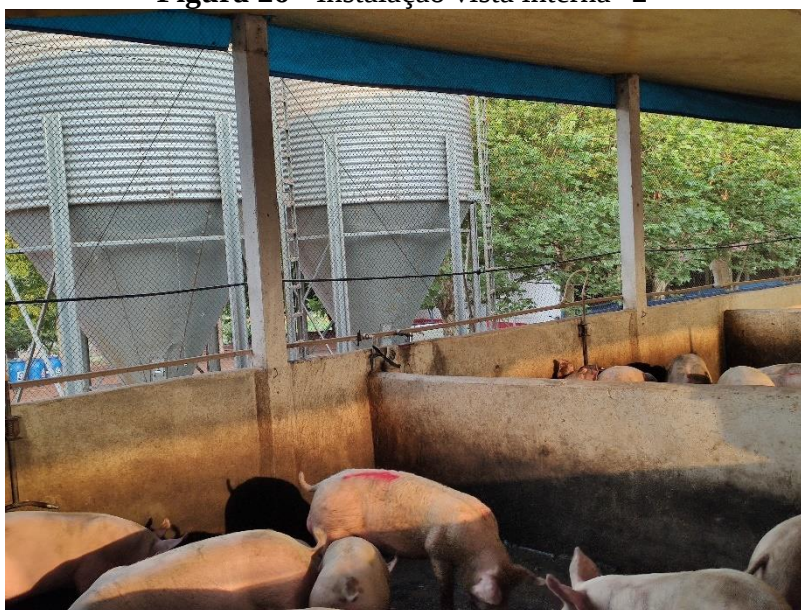
APÊNDICE B – INSTALAÇÃO DO SISTEMA

Figura 25 - Instalação vista interna "1"



Fonte: O autor, 2020

Figura 26 - Instalação vista interna "2"



Fonte: O autor, 2020

Figura 27 - Instalação vista externa "1"



Fonte: O autor, 2020

Figura 28 - Instalação vista externa "2"



Fonte: O autor, 2020

Figura 29 - Teste de funcionamento



Fonte: O autor, 2020

APÊNDICE C – REGISTROS DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA

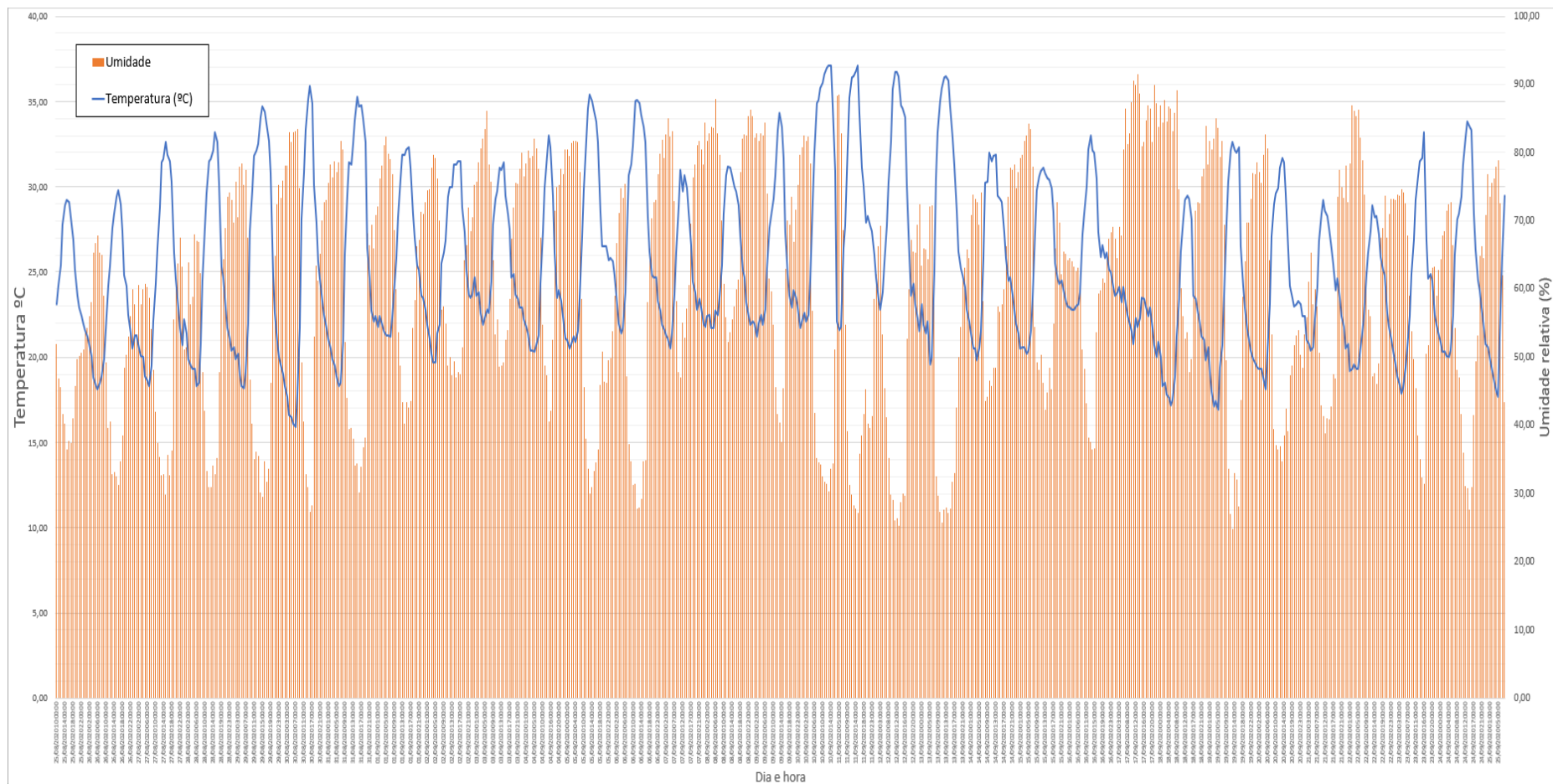


Gráfico 3 - Log de temperatura e umidade
(Fonte: O autor, 2020)