

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

SAMUEL JESUS DOS SANTOS

**ESTUDO DE CASO DO PROCESSO DE CONTROLE DE TEMPERATURA E
MELHORIA EM AQUECEDOR A LENHA DE UMA GRANJA AVÍCOLA**

Betim

2024

SAMUEL JESUS DOS SANTOS

**ESTUDO DE CASO DO PROCESSO DE CONTROLE DE TEMPERATURA E
MELHORIA EM AQUECEDOR A LENHA DE UMA GRANJA AVÍCOLA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Betim para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Msc. Bruno de Souza
Baptista

Betim
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

S237e Santos, Samuel Jesus dos
Estudo de caso do processo de controle de temperatura e melhoria em aquecedor a lenha de uma granja avícola / Samuel Jesus dos Santos. – 2024.

59 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2024.

Orientador: Prof. Me. Bruno de Souza Baptista

1. Avicultura. 2. Controle de temperatura. 3. Transferência de calor. 4. Melhoria de processos. 5. Engenharia Mecânica. I. Santos, Samuel Jesus dos. II. Título.

CDU: 620



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Betim
Diretoria de Ensino
Docentes Mecânica

Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG
3135976360 - www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DO TCC

Aos 10 dias do mês de setembro do ano de 2024, às 18:00 horas, sob a presidência de Bruno de Souza Baptista, o discente Samuel Jesus dos Santos do Curso de Engenharia Mecânica, R.A n ° 0035276 do IFMG – Campus Betim, defendeu o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “ESTUDO DE CASO DO PROCESSO DE CONTROLE DE TEMPERATURA E MELHORIA EM AQUECEDOR A LENHA DE UMA GRANJA AVÍCOLA” e foi APROVADO com a nota 92, que está condicionada ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa do TCC.

Caso seja aprovado, deverá apresentar o trabalho com as devidas modificações em formato pdf, em 30/09/2024 (20 dias corridos após a data da defesa) à Coordenação de TCC. O não cumprimento dos procedimentos pós-defesa de TCC até a data estipulada, implica em atribuição de nota ZERO e consequente REPROVAÇÃO. Alterações sugeridas pela banca examinadora e outras observações pertinentes à defesa foram entregues ao discente no dia da defesa.

Alterações sugeridas pela banca examinadora e outras observações pertinentes à defesa foram entregues ao discente no dia da defesa.

Betim, 20 de setembro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Bruno de Souza Baptista, Professor**, em 20/09/2024, às 15:38, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Augusto Rocha da Silva, Usuário Externo**, em 20/09/2024, às 16:02, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Flavio Magno de Carvalho Fonseca, Professor**, em 20/09/2024, às 16:47, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2046799** e o código CRC **6ED9A453**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por toda oportunidade que tive em minha vida e por toda proteção durante minha trajetória acadêmica.

Ao meu pai, Eustáquio, que não está mais presente fisicamente, mas foi meu maior apoiador, incentivador e inspiração como ser humano e segue sendo em meu coração.

A minha mãe, Maria, por todo carinho, preocupação, incentivo e cuidado, que foram cruciais durante toda minha vida.

Aos meus irmãos Adriana, Anderson e Alisson, que sempre me ajudaram nos momentos que precisei, com palavras carinhosas, conselhos e parceria.

Aos meus amigos da faculdade, Brendow, Cícero, Fabrício, Henrique, Igor e Luís, que foram importantíssimos durante o curso, nos momentos difíceis, bons e hilários, que ajudaram a vencer os desafios com mais leveza.

Agradeço especialmente ao Henrique, por ter me apoiado, aconselhado e ajudado diretamente durante toda a escrita e desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Weliton, companheiro de trabalho que me ensinou a utilizar o *Flow Simulation* com maestria, possibilitando o desenvolvimento do meu TCC.

Agradeço também ao meu orientador, professor Bruno Baptista pelos ensinamentos durante o curso e pela perfeita orientação.

Agradeço a todos os professores, técnicos e aqueles que fazem parte da minha vida que não foram citados, mas com certeza foram de extrema importância nesta fase. Sem vocês a realização deste sonho não seria possível.

RESUMO

Com o aumento no consumo de produtos avícolas ocorridos durante toda a evolução e crescimento populacional, foi necessário o desenvolvimento de técnicas e implementação de equipamentos, capazes de suprir a demanda do setor da avicultura, onde se destaca, principalmente, o consumo da carne de frango. Na avicultura de corte, exigiu-se uma evolução das instalações e equipamentos visando um manejo mais eficiente dos frangos e uma maior cadência de produção do setor. Um dos fatores mais importantes durante este manejo, é o controle de temperatura do ambiente, que é realizado a partir do uso de equipamentos como aquecedores, exaustores e placas evaporativas, a fim de garantir o crescimento correto dos animais e minimizar perdas. Este trabalho tem como objetivo apresentar como é realizado o controle de temperatura de uma granja avícola e também um estudo de caso referente a um componente de extrema importância no ciclo térmico, o aquecedor a lenha. Este estudo de caso consiste na avaliação da manutenção corretiva aplicada ao aquecedor de uma granja avícola, onde os tubos de transferência de calor originais de sua fabricação, que se encontravam com avarias por oxidação e, conseqüentemente, rompimento, foram substituídos por novos tubos de materiais e dimensões diferentes e apresentar os dados e impactos antes e após as modificações realizadas.

Palavras-chave: avicultura; controle de temperatura; aquecedor a lenha; melhoria de processo; transferência de calor.

ABSTRACT

With the increase in the consumption of poultry products that occurred throughout the evolution and population growth, it was necessary to develop techniques and implement equipment that were capable of meeting the demand of the poultry sector, where the consumption of chicken meat stands out mainly. In poultry farming, standards and an evolution of facilities and equipment involve more efficient management of chickens and a higher production rate in the sector. One of the most important factors during this management is controlling the temperature of the environment, which is carried out through the use of equipment such as heaters, exhaust fans and evaporative plates, in order to guarantee the correct growth of the animals and minimize losses. This work aims to present how temperature control is carried out in a poultry farm and also a case study regarding an extremely important component in the thermal cycle, the wood heater. This case study consists of evaluating the corrective maintenance applied to the heater of a poultry farm, where the original heat transfer tubes of its manufacture, which were found to have variations due to oxidation and consequently rupture, were replaced by new tubes of different materials and dimensions. different and present the data and impacts before and after the changes made.

Keywords: poultry farming; temperature control; wood heater; process improvement; heat transfer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Granja avícola de sistema intensivo	13
Figura 4.1 – Produção de carne de frango no Brasil de 2012 a 2022	17
Figura 4.2 – Sistema extensivo	18
Figura 4.3 – Sistema semi- intensivo.....	18
Figura 4.4 – Sistema intensivo	19
Figura 4.5 – Central de controle	21
Figura 4.6 – Aviário de sistema convencional semi climatizado	22
Figura 4.7 – Área interna de um aviário <i>dark house</i>	23
Figura 4.8 – Área externa de um aviário <i>dark house</i>	24
Figura 4.9 – Aviário em pressão positiva transversal	25
Figura 4.10 – Aviário em pressão negativa longitudinal	25
Figura 4.11 – Exaustores axiais com pás inclinadas para trás.....	26
Figura 4.12 – Esquema de funcionamento de uma placa evaporativa	27
Figura 4.13 – Sistema com placas evaporativas e exaustores.....	28
Figura 4.14 – Aquecedor a lenha	28
Figura 4.15 – Motor elétrico utilizado no aquecedor a lenha	29
Figura 4.16 – Ventilador utilizado em um aquecedor a lenha.....	30
Figura 4.17 – Comedouros em um galpão avícola.	31
Figura 5.1 – Aquecedor modelo D800.....	32
Figura 5.2 – Aquecedor a lenha com os tubos trocadores de calor danificados.....	33
Figura 5.3 – localização dos tubos trocadores de calor.....	34
Figura 5.4 – Aquecedor a lenha em processo de manutenção com pintura deteriorada	35
Figura 5.5 – Processo de desmontagem do aquecedor	36
Figura 5.6 – Imagem representativa do tubo trocador de calor	37
Figura 5.7 – Imagem representativa do tubo em aço inoxidável	37
Figura 5.8 – Tubos de aço inox soldados no aquecedor	38
Figura 5.9 – Aquecedor antes das modificações.....	39
Figura 5.10 – Aquecedor antes das modificações.....	39
Figura 5.11 – Vista isométrica em corte do equipamento com componentes ocultados e separação dos componentes por cor.....	41

Figura 5.12 – Modelo 3D do aquecer pós modificação com tubos cilíndricos em aço inoxidável na cor cinza	43
Figura 5.13 – vista em corte parcial do aquecedor com todos os tubos cilíndricos de aço inox.....	44
Figura 6.1 – Resultado da simulação do aquecedor antes da modificação.....	46
Figura 6.2 – Resultado da simulação do aquecedor após da modificação.....	46
Figura 6.3 – Trajetória do fluido e variação de temperatura antes da modificação. .	47
Figura 6.4 – Trajetória do fluido e variação de temperatura após a modificação.	47
Figura 6.5 – Temperatura de saída do ar do aquecedor após modificação com potência de 93.300 W.	50
Figura 6.6 – Resultado da simulação com todos os tubos em aço inox.	50
Figura 6.7 – Trajetória do fluido e variação de temperatura com todos os tubos em aço inox.	51
Figura 6.8 – Resultado da simulação com todos os tubos em aço inox e potência de 94.920 W.....	52
Figura 6.9 – Trajetória do fluido e variação de temperatura com todos os tubos em aço inox e potência de 94.920 W.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores para temperatura e umidade relativa de acordo com a idade das aves.....	20
Tabela 2 – Tabela de cores	40
Tabela 3 – Propriedades do material utilizado para simulação do aquecer anterior a modificação.	42
Tabela 4 – Propriedades do material utilizado nos tubos cilíndricos em aço inoxidável para simulação do aquecer posterior a modificação.	43
Tabela 5 – Consumo de lenha	53

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ΔT	Varição de temperatura
$\Delta\theta$	Diferença de temperatura em Kelvin
ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
AGEITEC	Agência Embrapa de Informação e Tecnologia
AISI	Instituto Americano do Ferro e do Aço
Cr	Crômio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
J	Joule
k	Condutividade térmica (W/m.K – Watts por metro Kelvin)
K	Kelvin
kg	Quilograma
l	Comprimento do tubo (m – metro)
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Ni	Níquel
\varnothing	Diâmetro
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius
P	Potência (kcal/h)
Q	Vazão (m ³ /h)
re	Raio externo do tubo (m – metros)
ri	Raio interno do tubo (m – metros)
s	Segundo
SAE	Society of Automotive Engineers – EUA Sociedade de Engenheiros Automotivos – BR
W	Watts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 JUSTIFICATIVA	16
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1 Avicultura de corte.....	17
4.2 Métodos de manejo das aves na avicultura de corte	18
4.3 Instalações para manejo do frango de corte	21
4.4 Exaustor	25
4.5 Placas evaporativas	26
4.6 Aquecedor a lenha	28
4.7 Comedouros e bebedouros	30
5 METODOLOGIA	32
5.1 Problemas encontrados no aquecedor a lenha	32
5.2 Manutenção realizada no aquecedor a lenha.....	35
5.3 Parâmetros inseridos para realizar simulação da troca de calor do aquecedor antes e após modificação.....	38
5.4 Simulação com todos os tubos trocadores de calor em aço inox e com diâmetro maior	44
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
6.1 Análise dos resultados da simulação do equipamento antes e após as modificações	46
6.2 Análise dos resultados da simulação com o equipamento utilizando todos os tubos em aço inox e diâmetro maior	50
6.3 Estimativa do consumo diário de lenha	52
7 CONCLUSÃO	54
8 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

De acordo com LOPES (2011), a avicultura é uma atividade destinada ao cultivo de aves para a produção de alimentos. Algumas espécies são mais comuns nesta atividade, sendo elas: frangos, codornas, patos, perus, entre outros. Este cultivo é designado principalmente ao consumo do ovo e da carne, sendo denominados avicultura de postura e avicultura de corte respectivamente.

Atualmente, a avicultura brasileira é exemplo de atividade e de cadeia produtiva de sucesso, sendo o setor que mais tem se destacado no campo da produção animal. A avicultura gera renda, melhora o nível social da população e pode ser atividade de pequeno produtor. (LOPES, 2011, p.18).

Dos sistemas de criação de aves, destaca-se principalmente o sistema intensivo, onde se há maiores investimentos financeiros e produção em grandes escalas, onde a carne e o ovo são fornecidos às grandes indústrias alimentícias. Neste sistema, o alojamento dos frangos é realizado nas granjas avícolas, que devem ser projetadas de modo a oferecer um ambiente limpo e protegido e principalmente com um controle de temperatura eficiente.

Figura 1.1 – Granja avícola de sistema intensivo



Fonte: OLIVEIRA, 2014

O controle de temperatura nas granjas é extremamente importante para o alojamento dos frangos, pois a cada etapa de crescimento, o ambiente em que estão deve se encontrar em temperaturas e níveis de umidade determinados. Para realizar este controle, são utilizados sensores capazes de realizar a leitura da temperatura e da umidade do galpão e acionar sistemas de resfriamento e de aquecimento quando

necessário. Para aquecimento, é muito comum o uso do aquecedor a lenha, já no sistema de resfriamento, os dispositivos utilizados são as placas evaporativas e em conjunto com estes equipamentos, é necessário o uso de exaustores responsáveis pela circulação de ar no galpão.

Neste trabalho, apresenta-se o processo de manejo dos frangos e o modo que é realizado o controle de temperatura da granja, elucidando o funcionamento dos equipamentos utilizados (aquecedor a lenha, exaustor e placas evaporativas). É apresentada uma análise de manutenção corretiva realizada no aquecedor a lenha de uma granja, com o intuito de expor as modificações realizadas no equipamento e as alterações em seu comportamento térmico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral mostrar a importância do controle de temperatura em uma granja avícola e também apresentar uma modificação realizada em um aquecedor a lenha, os impactos destas modificações no seu funcionamento e propor um novo modelo para o proprietário do aquecedor analisado.

2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo principal, é necessário elencar alguns objetivos específicos:

- Explicar o processo de controle de temperatura da granja de acordo com a necessidade de cada etapa de crescimento dos frangos.
- Mostrar as modificações realizadas no aquecedor a lenha, sendo elas limpeza, remoção e substituição dos tubos trocadores de calor danificados e pintura.
- Identificar os impactos causados no processo.
- Comparar o estado inicial com o estado final do equipamento após modificação.
- Analisar os dados quantitativos de funcionamento do aquecedor.
- Propor um novo modelo de aquecedor para o proprietário.

3 JUSTIFICATIVA

O Brasil figura entre os três maiores produtores de carne de frango no mundo, ficando atrás somente de Estados Unidos e China, e ao longo de sua história, houve proeminência no crescimento de produção do frango de corte. Desde a criação da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), em 1975, os dados apontam que houve aumentos consideráveis na produção da carne de frango. Entre os anos 2000 e 2010, houve um crescimento de 90,97% e projeções apontam crescimento de 28,1% entre 2020 e 2030, de acordo com o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). O consumo da carne de frango no Brasil, passou a ser maior nos anos de 2020 e 2021, devido à crise econômica que o país enfrenta resultante da pandemia do novo Corona Vírus, o que resultou no aumento dos preços da carne bovina. Com isso, a carne de frango virou umas das primeiras opções nos pratos dos brasileiros devido ao seu preço ser inferior em comparação ao da carne bovina.

Com o aumento no consumo da carne de frango, foi necessário aprimorar os meios de produção, destacando-se a necessidade de um controle de temperatura mais eficiente com o objetivo de garantir uma maior qualidade do produto e maior produtividade da granja.

O estudo de caso realizado apresenta dados que mostram que o reparo realizado no aquecedor a lenha foi viável tecnicamente e que o mesmo pode ser aplicado em outros modelos semelhantes presentes na granja aviária visitada.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Avicultura de corte

A Avicultura é a atividade da pecuária destinada ao cultivo de aves. Dentre as atividades da avicultura, destaca-se a avicultura de corte, que produz o frango de corte que é levado ao abate tendo como objetivo o consumo da carne. De acordo com a AGEITEC (Agência Embrapa de Informação e Tecnologia), a carne de frango é a mais consumida no Brasil, seguida da bovina e suína, respectivamente. O Brasil é o maior exportador de carne de frango do mundo e o terceiro maior produtor.

Segundo AVILA *et al.* (1992), a avicultura foi um dos setores com maior crescimento de produção no Brasil nas últimas décadas e para sanar as demandas, foram necessárias evoluções no genótipo, nutrição, sanidade, instalações, equipamentos e manejo das aves.

No ano de 2022, segundo dados disponibilizados no relatório anual da ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal) mostrados na figura 4.1, foram produzidos, no Brasil, 14,5 milhões de toneladas de carne frango, 4,5 milhões foram exportadas e o consumo no país foi de 45,5 kg per capita.

Figura 4.1 – Produção de carne de frango no Brasil de 2012 a 2022

Produção brasileira de carne de frango (milhões ton)	
2012	12,645
2013	12,309
2014	12,691
2015	13,140
2016	12,900
2017	13,050
2018	12,855
2019	13,245
2020	13,845
2021	14,329
2022	14,524

Fonte: adaptado de ABPA, 2023.

4.2 Métodos de manejo das aves na avicultura de corte

Pode-se dividir os métodos de manejo de frangos de corte basicamente em três, sendo eles o sistema extensivo, semi-intensivo e intensivo.

No sistema extensivo, figura 4.2, as aves são criadas em ambiente aberto, soltas e sem controles de alimentação e de abrigo, sendo um método voltado mais para o consumo de carnes e ovos com finalidade de subsistência residencial.

Figura 4.2 – Sistema extensivo



Fonte: CRIAÇÃO, 2021.

No sistema semi-intensivo, figura 4.3, as aves são alojadas nos primeiros dias de vida e há a presença de um galpão com o intuito de proteção às condições climáticas adversas, predadores e com um melhor controle sobre a alimentação. Durante o dia, as aves são soltas em um espaço aberto delimitado. O método semi-intensivo é voltado mais para os pequenos agricultores e tem a finalidade da venda da carne e dos ovos.

Figura 4.3 – Sistema semi- intensivo



Fonte: RUSSO, 2019.

O sistema intensivo, figura 4.4, é o que contém maior investimento e tecnologia embarcada e tem a finalidade de criação dos frangos para o abate. Neste método, as aves são criadas em um alojamento fechado com temperatura, umidade, luminosidade e alimentação totalmente controladas. (JÚNIOR, 2011)

Figura 4.4 – Sistema intensivo



Fonte: ROBUSTEC, 2024.

O manejo das aves no sistema intensivo dura em média de 35 a 45 dias e se inicia com o processo de recebimento dos pintos no galpão avícola e nesta etapa, o galpão já se encontra em temperatura, luminosidade e umidade ideal e é fornecido água e ração em quantidades exatas para as aves. Para cada faixa etária das aves, a temperatura e umidade do galpão deve ser um valor específico. Existem várias instruções técnicas para os valores de temperatura e umidade.

As aves são homeotérmicas, ou seja, são capazes de controlar a temperatura corporal, utilizando cerca de 80% da energia inserida para a regulação da temperatura. Com isso, é necessária uma temperatura ideal no ambiente em que se encontram, para que esse processo de homeostase seja mais eficiente (ABREU & ABREU, 2011). A tabela 1 contém os valores para temperatura confortável para as aves.

Tabela 1 – Valores para temperatura e umidade relativa de acordo com a idade das aves.

Idade- dias	% de Umidade Relativa	Temperatura °C	Temperatura °F
0	30-50	32-33	90-91
7	40-60	29-30	84-86
14	50-60	27-28	81-83
21	50-60	24-26	75-79
28	50-65	21-23	70-73
35	50-70	19-21	66-73
42	50-70	18	64
49	50-70	17	63
56	50-70	16	61

Fonte: COBB-VANTRESS BRASIL, 2009.

Além do controle de temperatura e umidade, há também o controle de luminosidade. Este fator é de extrema importância, pois a luminosidade estimula o consumo de ração e água das aves.

O controle de luminosidade tem influência direta no comportamento das aves. Nos primeiros dias, geralmente os sete primeiros, a intensidade e a quantidade devem ser suficientes para estimular a alimentação e desenvolvimento do sistema digestivo e imunológico. A distribuição de luz deve ser uniforme por todo o galpão. (COBB-VANTRESS BRASIL, 2009)

Na granja avícola de sistema intensivo, todos estes controles de temperatura, umidade, luminosidade e alimentação são realizados de forma automática, ou seja, o processo dispõe de equipamentos eletrônicos, sensores e mecanismos, controlados por uma central já programada para realizar todo o ciclo. A central é responsável por ligar e desligar as lâmpadas, exaustores, placas evaporativas, aquecedores, abertura e fechamento de cortinas e distribuição de comida e água. Na figura 4.5, é apresentada uma central de controle utilizada em uma granja avícola.

Figura 4.5 – Central de controle



Fonte: Autor, 2024.

4.3 Instalações para manejo do frango de corte

O galpão avícola é a instalação onde é realizado o alojamento e manejo dos frangos de corte. O mesmo deve ser construído com as dimensões adequadas para o alojamento e dispor de equipamentos capazes de fornecer ambiente propício para todo o processo de criação dos frangos.

A COBB-VANTRESS BRASIL (2009), diz que os galpões avícolas devem propiciar boa relação custo benefício, durabilidade e permitir o controle do ambiente.

Ao projetar e construir um aviário deve-se, primeiramente, selecionar um local com boa drenagem hídrica e com bastante movimentação natural de ar. A orientação do galpão deve seguir o eixo Leste-Oeste a fim de reduzir a intensidade da incidência de luz direta nas paredes laterais durante a parte mais quente do dia. O principal objetivo é reduzir ao mínimo a flutuação de temperatura durante as 24 horas do dia, principalmente durante a noite. O bom controle da temperatura irá propiciar melhor conversão alimentar e maior taxa de crescimento. (COBB-VANTRESS BRASIL, 2009, p.01).

Com a necessidade de um sistema produtivo mais eficiente para a avicultura de corte, devido às grandes taxas de aumento no consumo e na exportação, houve a necessidade de se padronizar alguns sistemas de manejo.

No sistema convencional, de acordo com ABREU (2011), o condicionamento térmico é natural, ou seja, não há a presença de um sistema de controle térmico artificial. Os comedores são do tipo tubular, os bebedouros do tipo pendular e as cortinas são de ráfia amarela, azul ou branca.

Já no sistema semiclimatizado, figura 4.6, os comedores são do tipo tubular ou automático, bebedouros pendulares ou nipple e há a presença de ventiladores em pressão positiva, ou seja, o ar é forçado do lado externo do galpão para o lado interno. A utilização do forro é opcional e as cortinas podem ser de ráfia amarela, azul ou branca (ABREU, 2011).

Figura 4.6 – Aviário de sistema convencional semi climatizado



Fonte: CIDASC, 2013.

ABREU (2011), ainda define um tipo de sistema climatizado, onde se apresenta um maior controle de temperatura que os sistemas citados anteriormente, com a presença de comedores automáticos, bebedouros nipple e ventiladores em pressão positiva, ou exaustores em pressão negativa. Há também um sistema de resfriamento, por placas evaporativas, com a opção de utilização de forros ou defletores de energia, de acordo com a quantidade de aves no aviário e cortinas de ráfia amarela, azul, branca ou reflexiva.

Existe ainda outro sistema bastante utilizado, denominado *dark house*, figuras 4.7 e 4.8. Segundo o médico veterinário Rodrigo Costa, este sistema proporciona um ambiente mais confortável às aves, a possibilidade de uma maior densidade populacional das aves, aumentando seu número cerca de 1,5 vezes por m² que o sistema convencional (AGRIMIDIA,2008). Isso resulta de uma combinação entre o controle de iluminação e ventilação, onde as aves se encontram em um ambiente escuro a maior parte do tempo, sem contato com luz natural. A iluminação interna do galpão é feita artificialmente, de acordo com a necessidade de cada faixa etária do frango.

Figura 4.7 – Área interna de um aviário *dark house*



Fonte: COLUSSI, 2014.

Figura 4.8 – Área externa de um aviário *dark house*.



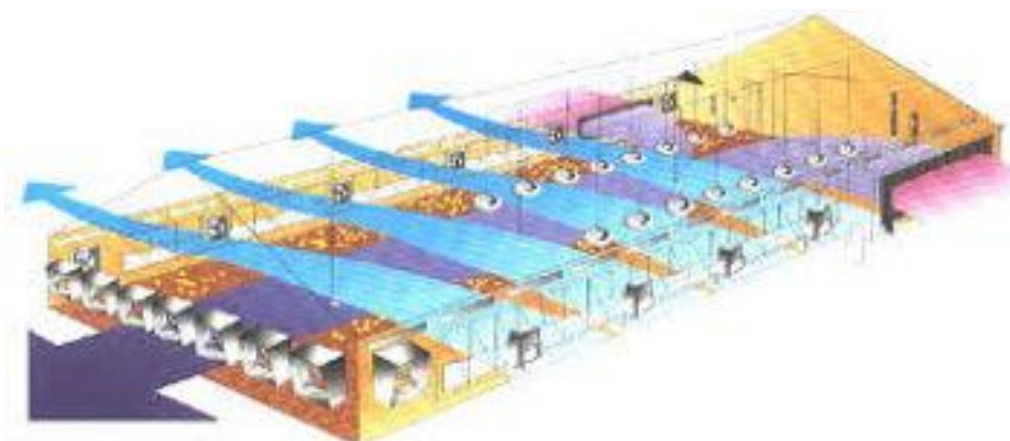
Fonte COLUSSI, 2014.

ABREU (2011) especifica o sistema *dark house* com comedores automáticos, bebedouros nipple e exaustores em pressão negativa. O sistema de resfriamento tende a ser por placas evaporativas ou por nebulização. A forração é de polietileno preto e pode-se utilizar defletores no forro. O controle de intensidade de iluminação é de extrema importância, e o mesmo é realizado por dimmer. As cortinas devem ser vedadas, impedindo a entrada de ar, garantindo assim a eficiência dos exaustores, sendo confeccionadas também em polietileno preto no lado interno e sendo reflexiva do lado externo.

O exaustor em um aviário de sistema *dark house* é utilizado em pressão negativa. ABREU (2000) diz que, neste sistema, o ar é forçado de dentro para fora do galpão, o que resulta em um vácuo gerado dentro da instalação. Os exaustores são posicionados na posição longitudinal ou transversal do galpão, e há a presença de entradas de ar em sua extremidade oposta.

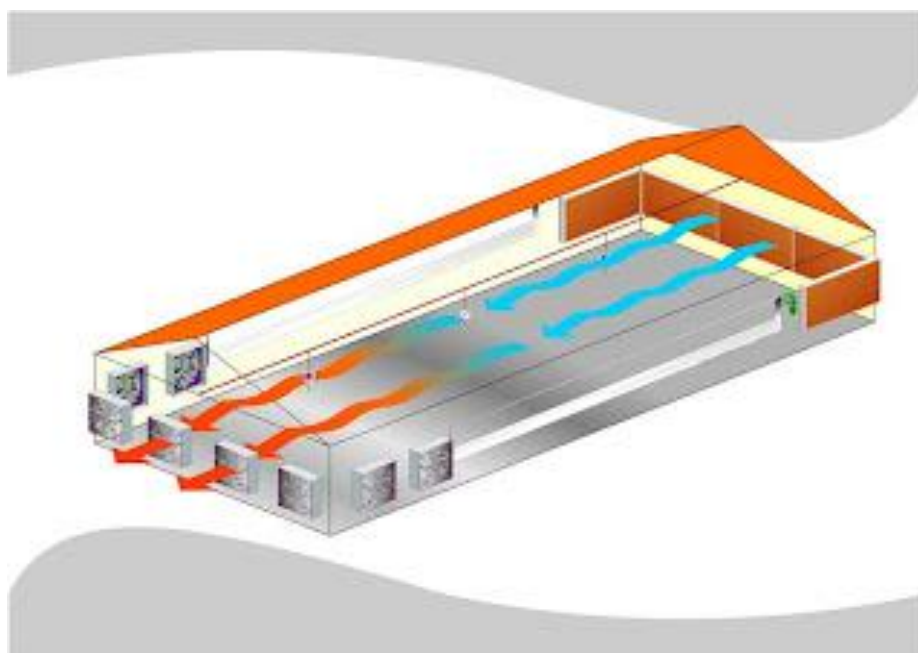
Com os exaustores posicionados na transversal, o fluxo de ar ocorre pelas laterais do galpão, ou seja, o ar se desloca de uma lateral a outra, mostrado na figura 4.9. Já com os exaustores na posição longitudinal, o ar é succionado de uma extremidade a outra no sentido do comprimento do galpão, conforme mostrado na figura 4.10 permitindo a renovação do ar no interior do aviário.

Figura 4.9 – Aviário em pressão positiva transversal



Fonte: METALZAN, 2020.

Figura 4.10 – Aviário em pressão negativa longitudinal



Fonte: PEQUINI, 2011.

4.4 Exaustor

Segundo a COBB-VANTRESS BRASIL (2009), para que o manejo dos frangos seja o mais eficiente possível, ou seja, que todo potencial genético das aves seja extraído, é necessário o fornecimento adequado de oxigênio no galpão e também a retirada de resíduos do ambiente que possa interferir no crescimento das aves. Para se garantir a quantidade mínima de ventilação, é necessário o uso de

exaustores. O exaustor axial é um ventilador utilizado para exaurir e gerar deslocamento de ar em um determinado espaço.

Segundo MACINTYRE (1990), ventiladores são máquinas operatrizes ou geratrizes com a finalidade de produzir deslocamentos de gases. São dotados de pás, que podem ser de diferentes modelos, um motor, geralmente elétrico, que transforma sua energia mecânica em energia cinética. Alguns modelos de ventiladores são os centrífugos, hélico-axiais e axiais. Os modelos de pás, podem ser radiais retas, inclinadas para trás, inclinadas para frente e curvas de saída radial.

Na figura 4.11, é mostrado um conjunto de exaustores axiais com pás inclinadas para trás, que trabalham em pressão negativa em um aviário de sistema *dark house*.

Figura 4.11 – Exaustores axiais com pás inclinadas para trás.



Fonte: Autor, 2024.

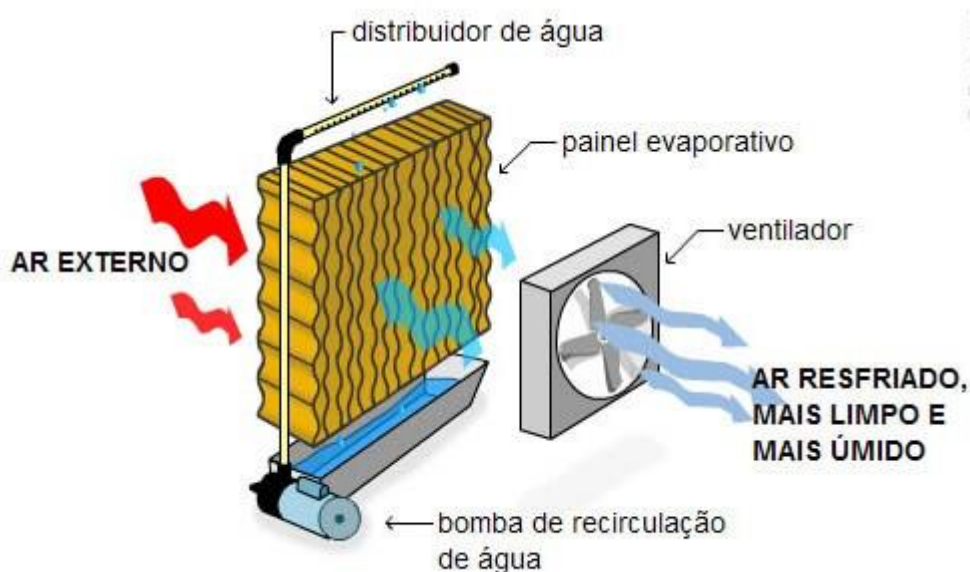
4.5 Placas evaporativas

O resfriamento evaporativo é responsável pela refrigeração do galpão quando se faz necessário e as placas evaporativas são responsáveis pelo processo. Este procedimento de refrigeração, de acordo com ALASTUEY (2021), resume-se

em circular o ar através de um painel composto por placas umidificadas evaporando a água contida nas mesmas. Para ocorrer este processo de evaporação da água, é necessário energia em forma de calor, que é fornecido pelo ar que circula entre as placas, resultando na diminuição de temperatura e aumento de umidade do ar.

Na figura 4.12 é mostrado o esquema de funcionamento de uma placa evaporativa.

Figura 4.12– Esquema de funcionamento de uma placa evaporativa

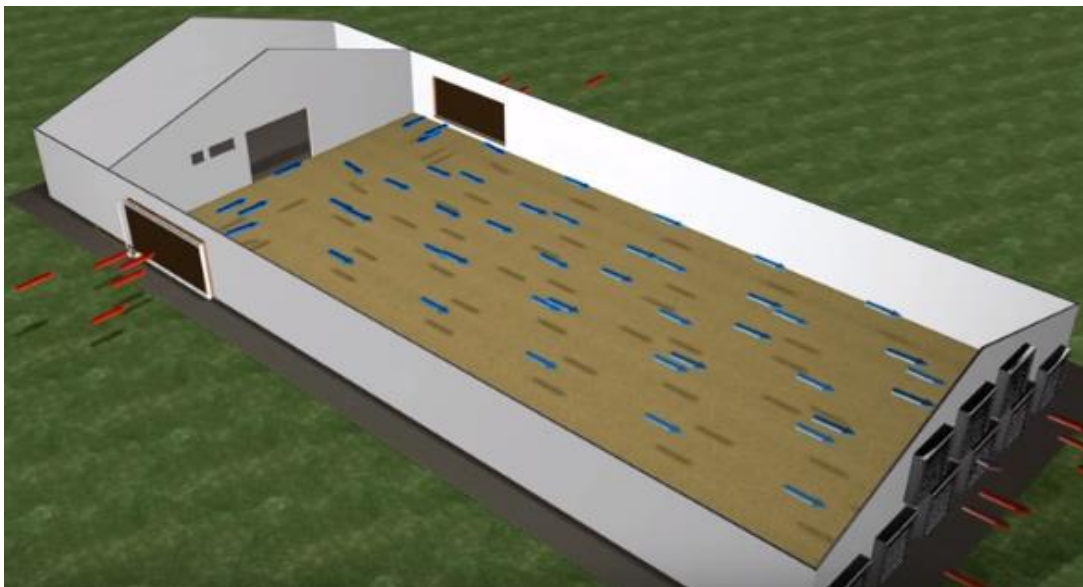


Fonte: MUNDIAL BRYSA, 2023.

Na figura 4.13, está exemplificado um galpão com o sistema contendo a presença de exaustores e placas evaporativas.

A esquerda da imagem, nas paredes laterais do galpão estão presentes as placas evaporativas e a direita, na parte do fundo do galpão, os exaustores. As setas indicam a direção do fluxo de ar. As setas na cor vermelha indicam que o ar está em uma temperatura elevada em relação as de cor azul, que resfriam quando passam pelas placas evaporativas.

Figura 4.13– Sistema com placas evaporativas e exatores



Fonte: SKOV, 2016.

4.6 Aquecedor a lenha

O aquecedor a lenha, figura 4.14, é utilizado para aquecer o ambiente para que o galpão permaneça na temperatura ideal para o alojamento correto dos frangos.

Figura 4.14 – Aquecedor a lenha



Fonte: Autor, 2024.

Há modelos de aquecedores a gás, porém, devido ao alto preço do gás, o uso de aquecedores a lenha foi uma alternativa para substituição, pois a lenha possui um custo inferior e também pode ser produzida pelo proprietário da granja.

O aquecedor é constituído basicamente de uma fornalha, chaminé, motor elétrico, exaustor centrífugo e tubos de troca de calor. Na fornalha é colocada a lenha, que ao ser queimada aquece os tubos de ar para a granja. Os gases provenientes da combustão da lenha são liberados para a atmosfera através da chaminé.

O exaustor centrífugo é acionado por um motor elétrico mostrado, em azul, na figura 4.15, direcionando o ar do ambiente externo, que se encontra em uma temperatura inferior, para o interior do aquecedor. O ar passa por dentro dos tubos trocadores de calor, que nesse momento estão aquecidos, onde ocorre a troca de calor. Por fim, o ar aquecido é direcionado para o interior do galpão.

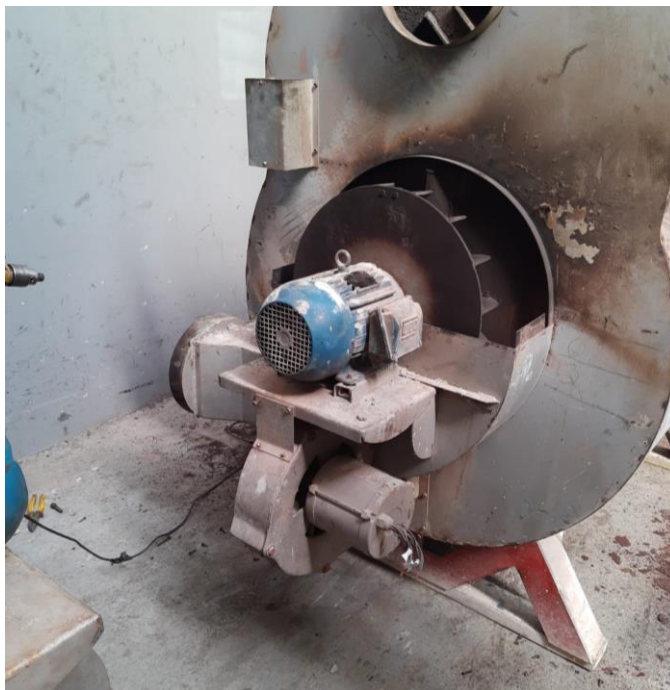
Figura 4.15 – Motor elétrico utilizado no aquecedor a lenha



Fonte: Autor, 20024

Na figura 4.16 é mostrado um aquecedor a lenha desmontado, onde é possível ver o motor elétrico o exaustor centrífugo.

Figura 4.16 – Ventilador utilizado em um aquecedor a lenha



Fonte: Autor, 2024.

4.7 Comedouros e bebedouros

Os comedouros e bebedouros são os dispositivos responsáveis pela distribuição dos alimentos e da água para todas as aves presentes no aviário. Todas as aves devem se alimentar e terem facilidade de acesso ao comedouro, figura 4.17, e ao bebedouro, de preferência, com o mínimo deslocamento possível, evitando assim o estresse em seu crescimento. Os comedouros e bebedouros devem ser distribuídos uniformemente e com espaçamentos iguais em todo o galpão. (ALBINO, BASSI & SAATKAMP, 2007)

A água deve ser fornecida às aves com vazão adequada para não comprometer o consumo de ração. Já para os comedouros, o espaço de alimentação é fundamental para garantir uma boa taxa de crescimento. A distribuição da ração e a proximidade da ave com o comedouro é de extrema importância. (COBB-VANTRESS BRASIL, 2009)

Figura 4.17 – Comedouros em um galpão avícola.



Fonte: ALD ARCOTHERM, 2018.

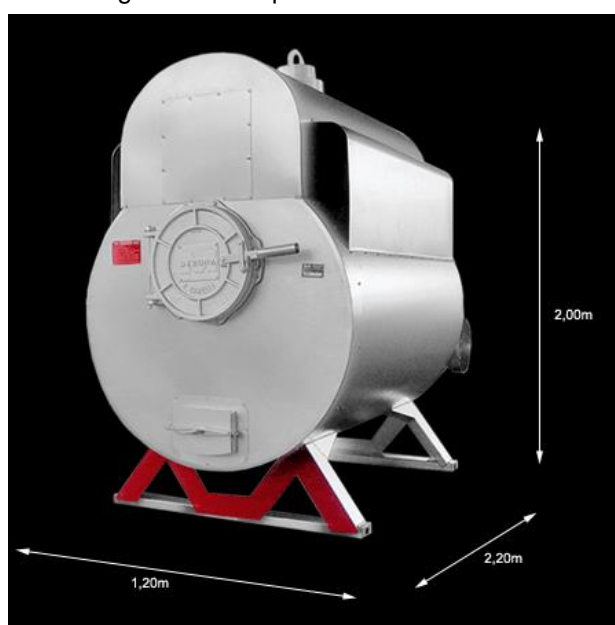
5 METODOLOGIA

Em uma granja avícola situada na cidade de Paraopeba, Minas Gerais, foi identificado em um dos aquecedores a lenha presente no sistema, problemas em seu funcionamento, o que ocasionou perda de produtividade, perda de eficiência do equipamento e alto consumo de lenha. Foi realizada manutenção geral no equipamento e modificação nos tubos trocadores de calor, alterando sua geometria e material, e para analisar e comparar a eficiência térmica do aquecedor modificado em relação ao original, foi realizada simulação computacional com o *software Solidworks* além de um modelo de proposta para o proprietário.

5.1 Problemas encontrados no aquecedor a lenha

O aquecedor a lenha em questão, é um modelo D800 da fabricante Metalúrgica Debona, mostrado na figura 5.1. Ao se realizar a análise do equipamento, foi identificado que os tubos trocadores de calor se romperam, o que ocasionava uma perda na eficiência térmica e passagem de gases provenientes da combustão para dentro do galpão, causando assim, asfixia, problemas respiratórios e óbito dos frangos.

Figura 5.1 – Aquecedor modelo D800



Fonte: ALLBIZ, 2024.

Os problemas apresentados, de acordo com os funcionários da granja, ocorreram devido a falhas na operação do equipamento: era utilizado quantidade excessiva de combustível, aumentando a temperatura de trabalho para além da indicada pelo fabricante, umidade presente na lenha utilizada como combustível e a falta de manutenção do equipamento. Estes fatores levaram os tubos trocadores de calor a oxidação e conseqüente rompimento, como mostrado na figura 5.2. Devido à perda de eficiência térmica, era utilizado maior quantidade de combustível resultando em aumento no consumo de lenha.

Figura 5.2 – Aquecedor a lenha com os tubos trocadores de calor danificados



Fonte: Autor, 2024

Figura 5.3 – localização dos tubos trocadores de calor



Fonte: Autor, 2024

Na figura 5.3, é possível identificar a localização dos tubos trocadores de calor. São 15 tubos posicionados na parte superior do equipamento e 7 na parte inferior.

Na parte interna do aquecedor, foi possível observar a presença de oxidação e fuligem proveniente da queima da lenha. De 22 tubos utilizados no aquecedor, 7 foram danificados e rompidos, enquanto o restante se encontrava em bom estado de conservação. A carcaça do aquecedor se encontrava oxidada e com a pintura bastante deteriorada, conforme mostrado na figura 5.4.

Figura 5.4 – Aquecedor a lenha em processo de manutenção com pintura deteriorada



Fonte: Autor, 2024

5.2 Manutenção realizada no aquecedor a lenha

Após a identificação dos problemas o aquecedor foi levado a uma empresa de caldeiraria para ser reformado. Na primeira etapa da manutenção do aquecedor, foi realizado o processo de limpeza do equipamento, removendo todas as fuligens e impurezas. O próximo passo foi o processo de desmontagem. Foram cortadas as chapas e os tubos danificados, fazendo assim a remoção dos mesmos conforme mostrado na figura 5.5. Foi realizada a limpeza dos tubos trocadores de calor que se encontravam em bom estado, sem necessidade de removê-los.

Figura 5.5 – Processo de desmontagem do aquecedor

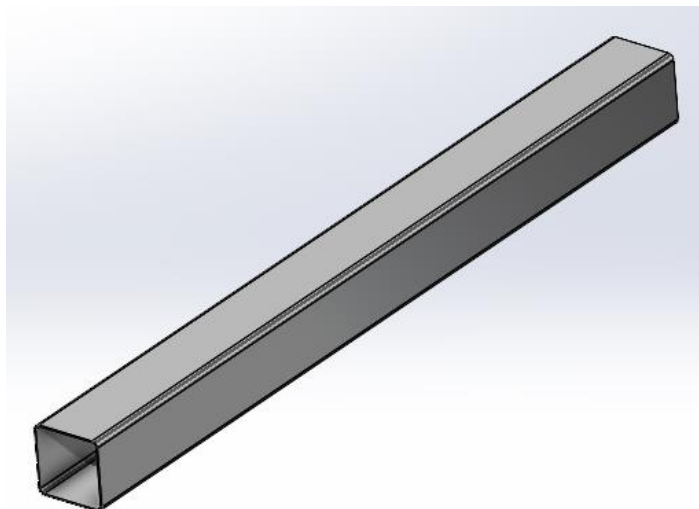


Fonte: Autor, 2024

Foi realizado um processo de lixamento para remover os resquícios de tinta, oxidação e impurezas na parte externa e na parte interna. Após as etapas de desmontagem e limpeza, iniciou-se o processo de troca dos tubos danificados e preparação para pintura.

Os tubos utilizados originalmente no equipamento são de aço SAE 1020, perfil quadrado, medindo 100x100 mm, espessura de 2 mm e comprimento de 1190 mm conforme imagem 5.6 gerada a partir do software *Solidworks* de modelagem 3D.

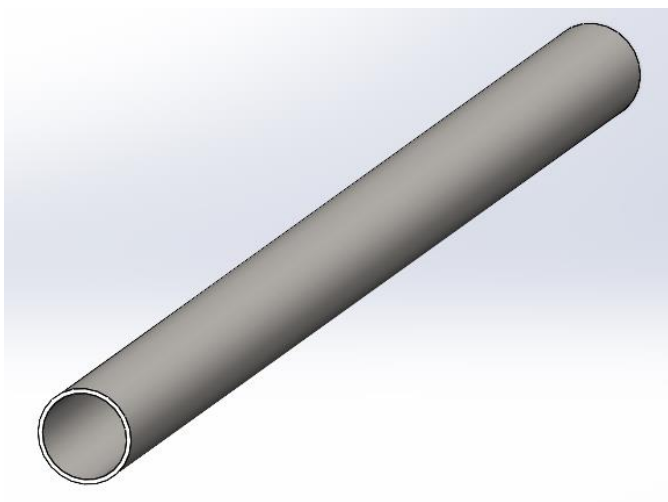
Figura 5.6 – Imagem representativa do tubo trocador de calor



Fonte: Autor, 2024

Na manutenção, os tubos defeituosos foram substituídos por tubos cilíndricos de aço inoxidável AISI 302. Foram utilizados tubos com diâmetro externo de 76,2 mm, espessura de 3,77 mm e comprimento de 1190 mm. O proprietário optou por utilizar estes tubos, pois o aço inox tem maior resistência a corrosão, o que resulta em maior vida útil para os tubos trocadores de calor. As dimensões dos tubos cilíndricos são padrões de mercado facilitando a aquisição e consequentemente o tempo de manutenção do equipamento, em caráter de urgência, devido à necessidade dos aquecedores para funcionamento da granja. A imagem 5.7 representa o tubo, também gerado a partir do software *Solidworks*.

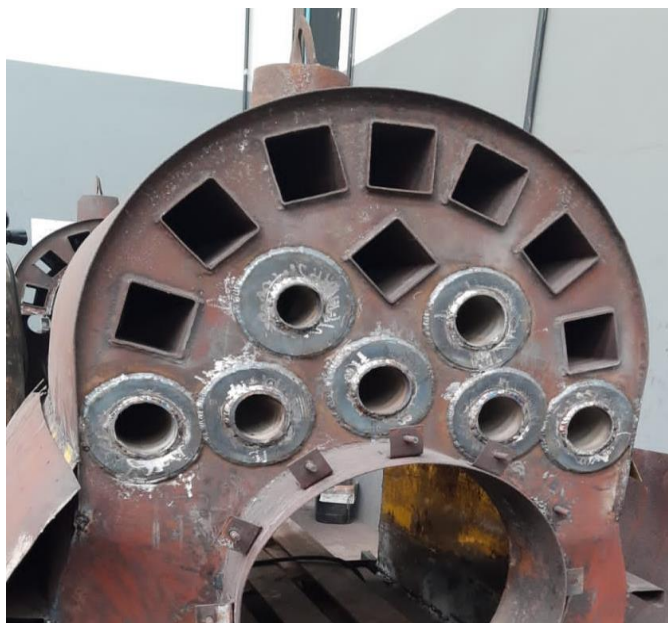
Figura 5.7 – Imagem representativa do tubo em aço inoxidável



Fonte: Autor, 2024

A chapa em que os tubos se encaixam foi adaptada para receber os tubos em inox, pois os tubos a serem substituídos eram quadrados, precisando assim alterar o perfil do corte. Os tubos de inox foram soldados nos devidos locais conforme imagem 5.8.

Figura 5.8 – Tubos de aço inox soldados no aquecedor



Fonte: Autor, 2024

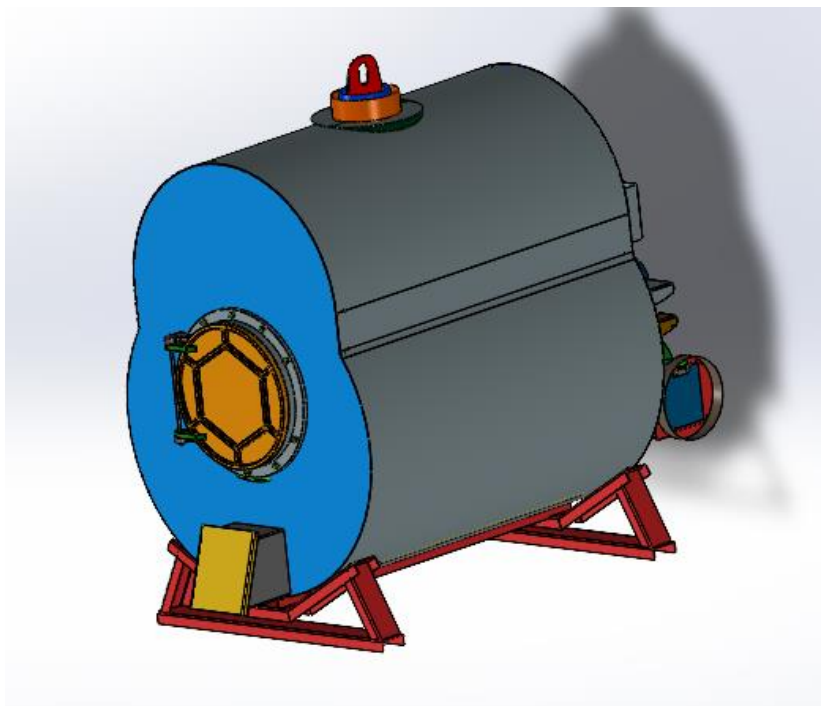
Após a soldagem dos tubos, as chapas foram também soldadas e por fim, o aquecedor foi pintado em sua parte externa, utilizando tinta com resistência a alta temperatura.

5.3 Parâmetros inseridos para realizar simulação da troca de calor do aquecedor antes e após modificação

Para analisar a troca de calor antes e após a manutenção realizada no aquecedor, foi realizada uma simulação no software *Solidworks* através do módulo *Flow Simulation*. O equipamento foi modelado com as dimensões reais de todos os seus componentes. Foram simulados três modelos, um com as características antes da modificação, em que todos os tubos trocadores de calor eram quadrados e em aço SAE 1020, outro modelo após as modificações, onde foram substituídos 7 tubos quadrados por tubos cilíndricos em aço inoxidável AISI 302 e o terceiro modelo com a finalidade de teste e proposta para o proprietário do aquecedor, com todos os

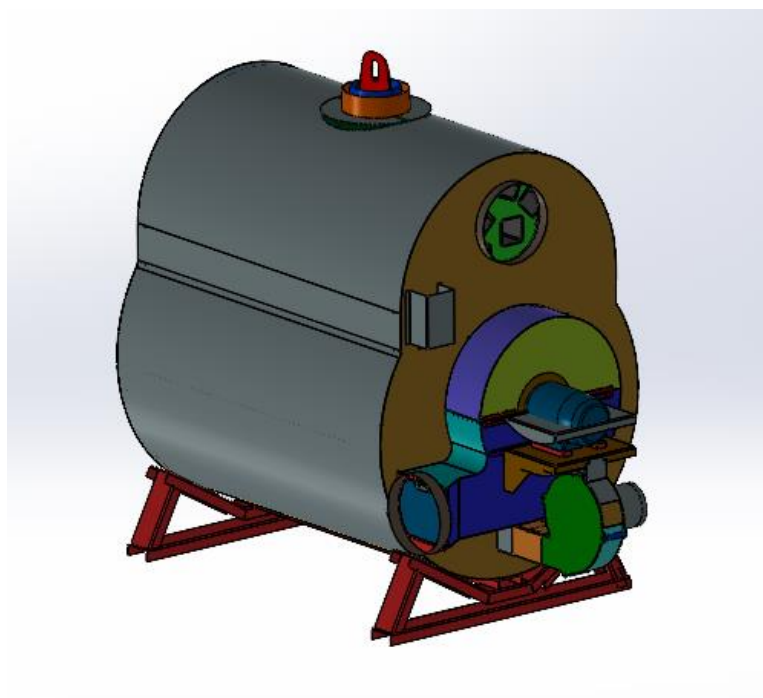
tubos cilíndricos e de aço inox AISI 302. Nas figuras 5.9 e 5.10, está representado o modelo do aquecedor antes das modificações.

Figura 5.9 – Aquecedor antes das modificações.



Fonte: Autor, 2024

Figura 5.10 – Aquecedor antes das modificações.





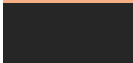


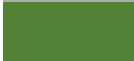


Fonte: Autor, 2024

Para realizar a simulação, primeiramente foram ocultados alguns componentes do modelo 3D e definidas três superfícies de limite computacional, que o software denomina como *LIDS*, que em português significa tampa, sendo um para a entrada do fluido, um para a saída do fluido e o terceiro para saída dos gases de combustão. A simulação foi realizada de forma interna no modelo, isoladamente do meio externo, ou seja, o ambiente externo não influenciou nos resultados.

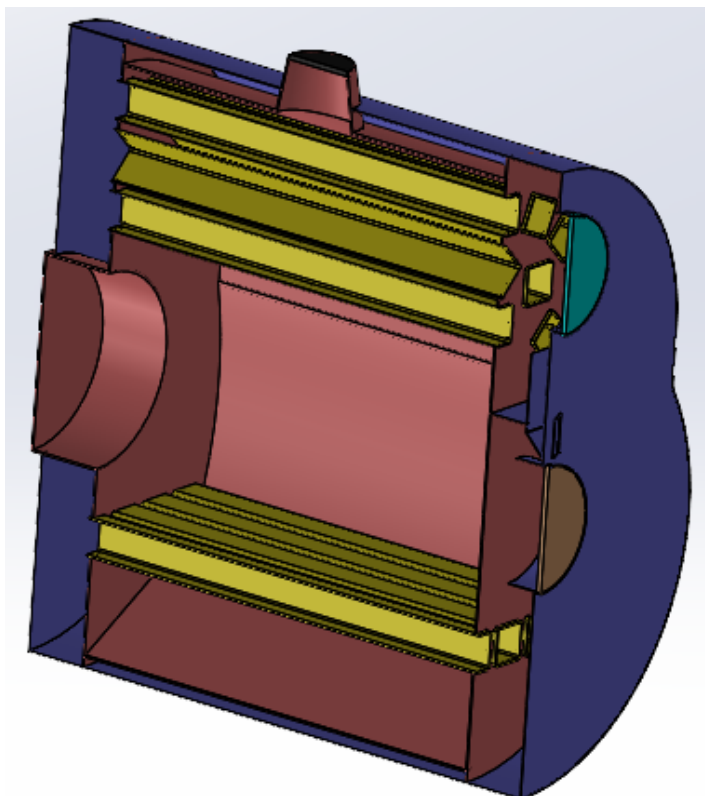
O equipamento foi separado em duas câmaras, sendo uma contendo o volume do fluido que foi submetido à troca de calor, intitulada de câmara de troca de calor e o outro volume que fornece energia ao equipamento, ou seja, onde ocorre a queima da lenha, intitulada de câmara de combustão. Na figura 5.11 é possível visualizar o modelo 3D em vista isométrica em corte. Na tabela 2 estão descritos os componentes presentes no modelo do aquecedor. A finalidade da escala de cores foi facilitar a inserção dos parâmetros e a visualização dos resultados.

Tabela 2 – Tabela de cores

Cor	Componente
	Câmara de troca de calor
	Câmara de combustão
	<i>Lids</i> de entrada do fluido
	<i>Lids</i> de saída do fluido
	<i>Lids</i> de saída dos gases
	Tubos quadrado Aço SAE 1020 100x100mm
	Tubos cilíndricos Aço AISI 302 \varnothing 76,2mm
	Tubos cilíndricos Aço AISI 302 \varnothing 114,3mm

Fonte: Autor, 2024.

Figura 5.11 – Vista isométrica em corte do equipamento com componentes ocultos e separação dos componentes por cor.



Fonte: Autor, 2024.

No *LIDS* de entrada, foram inseridas as condições iniciais do fluido. Definiu-se o tipo de fluido como ar atmosférico, a partir da base de dados do próprio software com temperatura inicial de 20° C. A vazão volumétrica de entrada do fluido foi obtida através do catálogo do fabricante, sendo de 6.700 m³/h. O valor foi convertido para m³/s, pois o software trabalha no sistema internacional de unidades, resultando no valor de vazão de 1,8611 m³/s.

Posteriormente, foi selecionado o material dos componentes, a partir da base de dados do software, que contém uma lista de materiais e suas propriedades. Para o modelo anterior à modificação, para todos os componentes foi definido o material como Aço carbono macio, com as propriedades similares ao SAE 1020, utilizado originalmente no projeto. As propriedades estão descritas na tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades do material utilizado para simulação do aquecedor anterior a modificação.

Propriedade	Valores
Nome	Aço com baixo teor de carbono
Densidade	7.870 kg/m ³
Calor específico	472 J/(kg*K)
Tipo de condutividade	Isotrópica
Condutividade térmica	51,9 W/(m*K)
Condutividade elétrica	Condutor
Resistividade	1,74 e-07 Ohm*m
Temperatura de fusão	1673,15 K

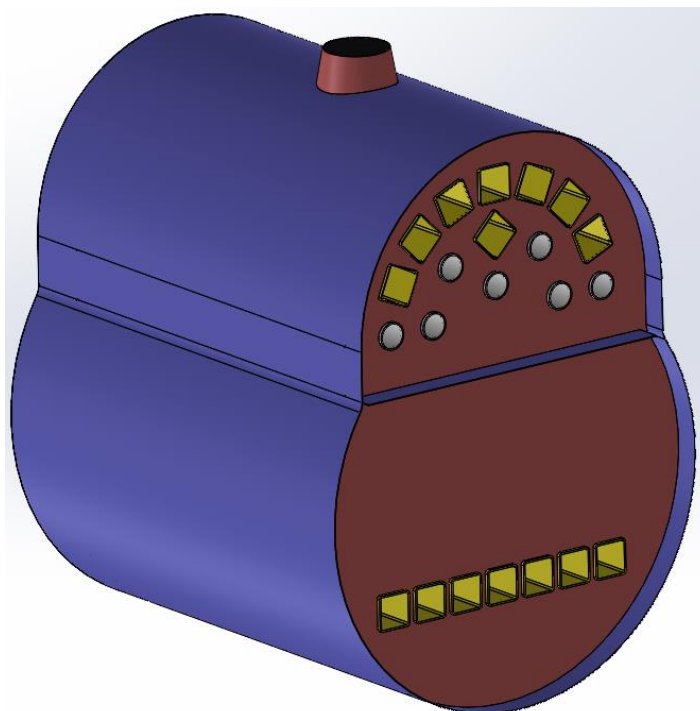
Fonte: Autor, 2024

O último parâmetro inserido foi a potência da fonte de energia do aquecedor na câmara de combustão. O catálogo do fabricante informa que a temperatura ideal do ar na saída do equipamento é entre 100° C e 130° C. Foi quantificada a potência em 93.000 Watts, sendo esta energia o suficiente para aquecer o ar que estava inicialmente a 20° C na entrada, para 130° C na saída. O valor da potência foi definido de forma empírica, até se alcançar a temperatura de saída desejada.

Para o modelo do aquecedor posterior às modificações, os parâmetros inseridos foram iguais ao anterior, com diferença na escolha do material para os tubos substituídos.

Foram substituídos 7 tubos de perfil quadrado medindo 100x100 mm e espessura de parede de 2 mm de aço SAE 1020 por tubos cilíndricos, sendo estes de aço inoxidável AISI 302 com diâmetro externo de 76,2 mm e espessura de parede de 3,77 mm, ambos medindo 1.190 mm de comprimento. Os tubos cilíndricos e demais componentes estão identificados por cor, conforme tabela 2 e mostrados na imagem 5.12 que contém o aquecedor pós modificação em vista isométrica em corte.

Figura 5.12 – Modelo 3D do aquecer pós modificação com tubos cilíndricos em aço inoxidável na cor cinza



Fonte: Autor, 2024

O material selecionado na base de dados do software para os 7 tubos cilíndricos foi o Aço Inoxidável AISI 302, com as propriedades descritas na tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades do material utilizado nos tubos cilíndricos em aço inoxidável para simulação do aquecedor posterior a modificação.

Propriedade	Valores
Nome	Aço Inoxidável AISI 302
Comentários	Cr18/Ni8
Densidade	7.900 kg/m ³
Calor específico	500 J/(kg*K)
Tipo de condutividade	Isotrópica
Condutividade térmica	16,299 W/(m*K)
Condutividade elétrica	Condutor
Resistividade	7,2 e-07 Ohm*m
Temperatura de fusão	1673,15 K

Fonte: Autor, 2024

A última etapa consistiu em determinar qual o resultado a ser exibido a partir da simulação. O resultado desejado foi a temperatura do ar no *LIDS* de saída.

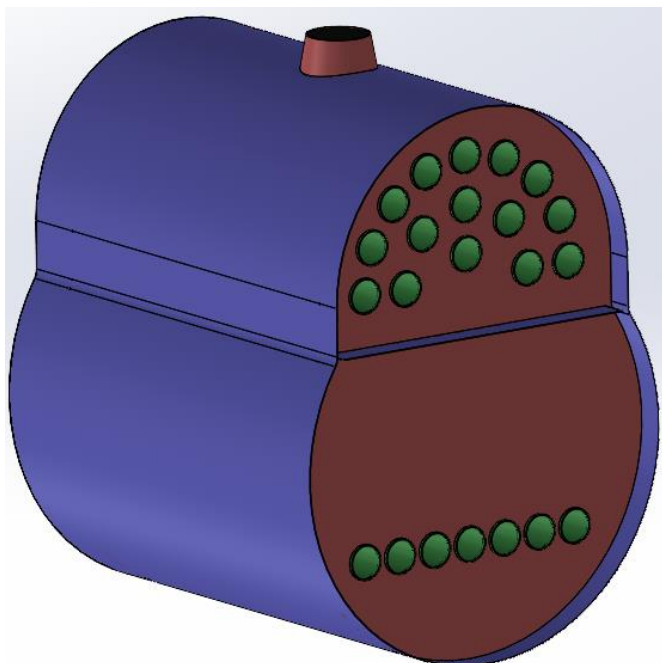
Após inseridos todos os parâmetros, foi executada a simulação para os dois modelos, antes da modificação e após a modificação do aquecedor e analisados os respectivos resultados.

5.4 Simulação com todos os tubos trocadores de calor em aço inox e com diâmetro maior

Foi realizada uma simulação de teste, para propor ao proprietário a utilização de todos os tubos trocadores de calor em aço inox AISI 302, cilíndricos e com maior diâmetro do que os utilizados na manutenção, com o intuito de aumentar a eficiência térmica e melhorar a resistência a oxidação dos tubos.

O tubo utilizado para esta simulação é padrão de mercado e de medidas maiores do que os tubos quadrados de aço SAE 1020 usados originalmente no equipamento, pois a condutividade térmica do aço inox é significativamente menor do que o aço SAE 1020. O diâmetro externo escolhido foi de $\text{Ø}114,3$ mm, parede de 2,11 mm, diâmetro interno de $\text{Ø}110,08$ mm e comprimento de 1.190 mm, mostrados na figura 5.13 em cor conforme tabela de 2.

Figura 5.13 – vista em corte parcial do aquecedor com todos os tubos cilíndricos de aço inox



Fonte: Autor, 2024

Primeiramente foram utilizados os mesmos parâmetros das duas simulações anteriores, com potência da câmara de combustão de 93.000 W e analisada a temperatura na saída do equipamento.

Por fim, foi realizada uma última simulação, alterando o valor da potência para 94.910 W, valor obtido de forma empírica, suficiente para a temperatura de saída do ar ser de 130° C, a máxima indicada pelo fabricante para operação do equipamento.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após as simulações realizadas, os resultados foram analisados e comparados com o equipamento original de fábrica, considerando a temperatura de saída máxima indicada pelo fabricante, de 130° C, como a eficiência máxima do aquecedor. Foi calculado também, uma estimativa do consumo de lenha para cada modelo de aquecedor simulado.

6.1 Análise dos resultados da simulação do equipamento antes e após as modificações

Os resultados obtidos a partir da simulação, mostram que não houve uma mudança considerável na temperatura de saída. No aquecedor antes das modificações, a simulação resultou na temperatura de saída de 130,09° C, figura 6.1. Para os mesmos valores de potência, no aquecedor após as modificações, a temperatura alcançada na saída foi de 129,38° C, mostrado na figura 6.2, resultando numa diferença de 0,71° C em relação ao aquecedor antes das modificações.

Figura 6.1 – Resultado da simulação do aquecedor antes da modificação.

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
SG Average Temperature (Fluid) 2	131.083 °C	Achieved (IT = 151)	2.74939 °C	130.092 °C

Fonte: Autor, 2024.

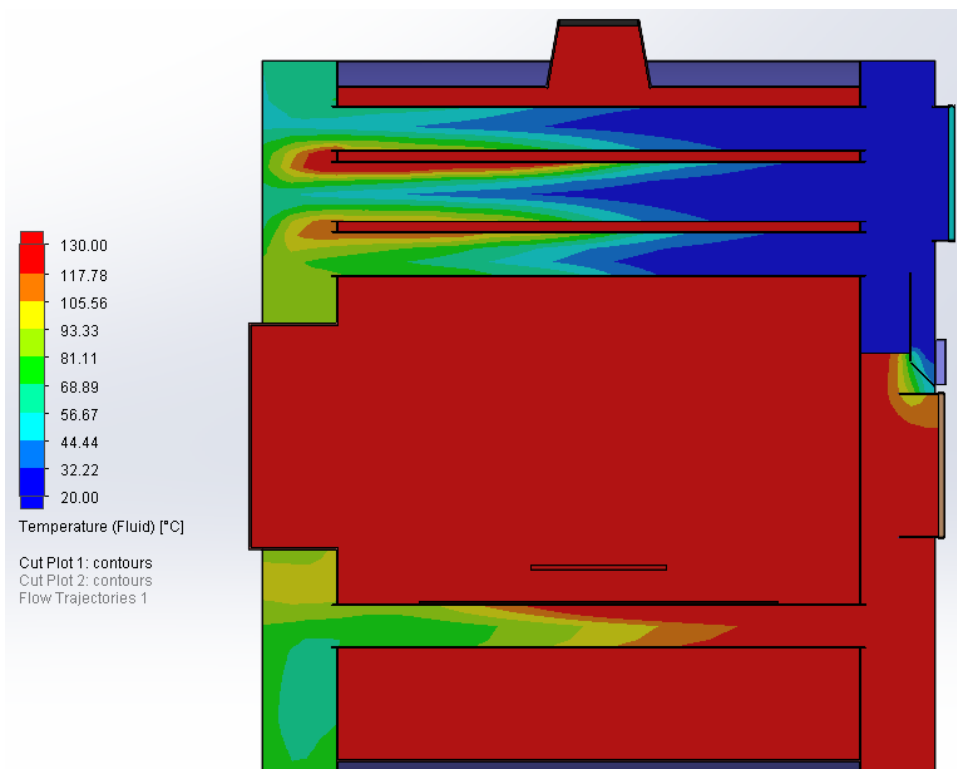
Figura 6.2 – Resultado da simulação do aquecedor após da modificação.

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
SG Average Temperature (Fluid) 2	130.046 °C	Achieved (IT = 143)	2.79833 °C	129.376 °C

Fonte: Autor, 2024.

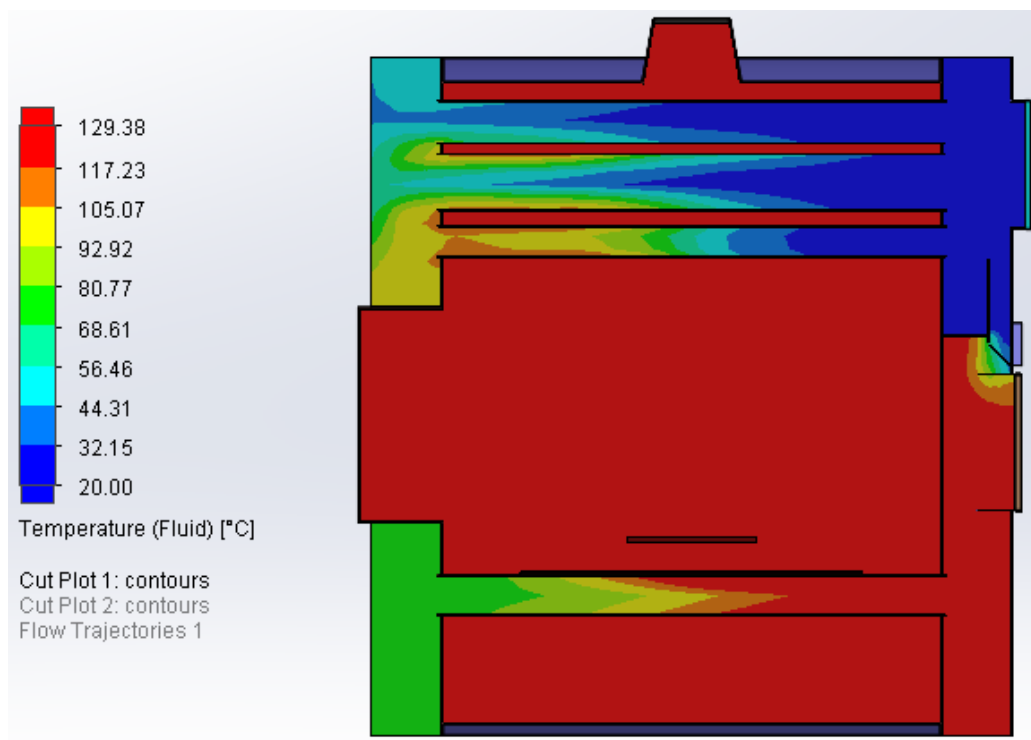
Nas figuras 6.3 e 6.4 é possível visualizar a trajetória do fluido pelo aquecedor e a sua variação de temperatura até a saída. Nas imagens há uma escala de cores, representando cada faixa de temperatura.

Figura 6.3 – Trajetória do fluido e variação de temperatura antes da modificação.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 6.4 – Trajetória do fluido e variação de temperatura após a modificação.



Fonte: Autor, 2024.

No Catálogo Debona – Linha 2014, é disponibilizado pelo fabricante a equação 1, onde é possível definir a potência fornecida pelo equipamento em quilocalorias por hora (kcal/h).

$P = Q \times 0,288 \times \Delta T$	(1)
--------------------------------------	-----

Sendo:

P = potência (kcal/h);

Q = vazão volumétrica (m³/h);

ΔT = variação de temperatura (Temperatura final – Temperatura inicial C°).

Para a simulação do aquecedor antes das modificações, o resultado de potência fornecida foi:

$P = 6.700 \times 0,288 \times (130,09 - 20)$
$P = 212.429,66 \text{ kcal/h}$

Para a simulação do aquecedor após as modificações, o resultado de potência fornecida foi:

$P = 6.700 \times 0,288 \times (129,38 - 20)$
$P = 211.059,65 \text{ kcal/h}$

A diferença na potência fornecida foi de 1.370,01 kcal/h, ou seja, com o uso de 7 tubos cilíndricos em aço inox, o aquecedor teve um déficit de 0,64%.

Este déficit se dá devido ao fluxo de transferência de calor ser menor para os tubos cilíndricos de aço AISI 302. Conforme descrito por INCROPERA *et al.* (2014), a lei de Fourier para tubos cilíndricos relaciona a condutividade térmica do material, o raio interno e externo do tubo, de acordo com a equação 2:

$q = \frac{2 \cdot k \cdot \pi \cdot l \cdot \Delta \theta}{\ln \left(\frac{r_i}{r_e} \right)}$	(2)
--	-----

Em que:

k – condutividade térmica (W/m.K – Watts por metro Kelvin)

l – Comprimento do tubo (m – metro)

$\Delta \theta$ = diferença de temperatura (K – Kelvin)

r_i – raio interno do tubo (m – metros)

r_e – raio externo do tubo (m – metros)

Os tubos cilíndricos de aço inox AISI 302 utilizados na manutenção do equipamento, têm o diâmetro externo de 76,2 mm, espessura de 3,77 mm, sendo o diâmetro interno 68,66 mm, resultando no raio externo de 38,1 mm e raio interno de 34,33 mm. A condutividade térmica do aço inox AISI 302 é de 16,3 W/m.K.

A Lei de Fourier deve ser utilizada para se calcular o fluxo de calor em tubos cilíndricos e devido aos tubos de aço SAE 1020 serem quadrados, deve se considerar o diâmetro hidráulico para os cálculos. O diâmetro hidráulico é uma maneira de transformar as dimensões de tubos que não são de geometria circular para um valor de diâmetro equivalente (CONNOR, 2019). Para tubos quadrados, o diâmetro hidráulico é igual a medida do lado do quadrado.

Os tubos quadrados de aço SAE 1020, medem 100x100 mm e tem espessura de 2 mm, sendo a medida interna 96x96 mm, resultando no diâmetro hidráulico externo de 100 mm e interno de 96mm, sendo o raio externo considerado de 50 mm e interno de 48 mm. A condutividade térmica do aço SAE 1020 é de 51,9 W/m.K respectivamente. O fluxo de calor para os tubos quadrados, considerando a equação 2, será de 8.840,62 kW e para os tubos cilíndricos 1.087,81 kW.

Os fatores citados influenciam diretamente na redução do fluxo de calor, resultando numa menor temperatura na saída do equipamento. Dos 22 tubos presentes no equipamento, foram substituídos somente 7 tubos por cilíndricos de aço inox AISI 302 e restaram ainda 15 tubos quadrados de aço SAE 1020, que são mais eficientes na troca de calor. A posição dos tubos substituídos, sendo estes mais próximos da fonte de calor, potencializou a troca de calor. Devido a estes fatores, não houve impacto significativo no funcionamento e na eficiência do aquecedor, com redução na temperatura de saída de 0,71° C.

Para que o aquecedor, após as modificações, consiga alcançar a temperatura de saída do ar de 130° C, foi preciso elevar a potência, a partir da adição de combustível na câmara de combustão, para 93.300 W, valor este, obtido de forma empírica.

Figura 6.5 – Temperatura de saída do ar do aquecedor após modificação com potência de 93300 W.

List of Goals				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
SG Average Temperature (Fluid) 2	131.175 °C	Achieved (IT = 159)	2.52198 °C	130.19 °C

Fonte: Autor, 2024.

6.2 Análise dos resultados da simulação com o equipamento utilizando todos os tubos em aço inox e diâmetro maior

Os resultados obtidos com a simulação utilizando todos os tubos em aço inox, apresentaram menores valores na temperatura de saída do equipamento, porém, dentro da faixa de temperatura ideal de trabalho do equipamento e próximo à temperatura máxima indicada pelo fornecedor.

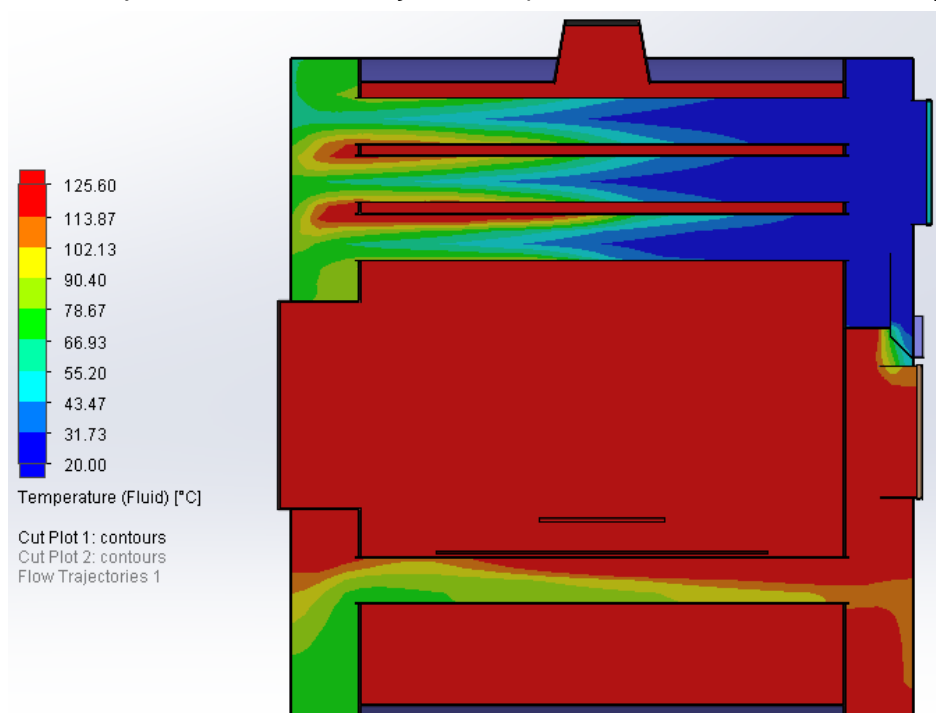
Com o mesmo valor de potência de 93.000 W utilizado na simulação do equipamento original, a temperatura do ar na saída alcançou 125,60° C, uma redução de 4,5° C conforme mostrado nas figuras 6.6 e 6.7.

Figura 6.6 – Resultado da simulação com todos os tubos em aço inox.

List of Goals				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
SG Average Temperature (Fluid) 2	124.907 °C	Achieved (IT = 181)	2.52521 °C	125.602 °C

Fonte: Autor, 2024.

Figura 6.7 – Trajetória do fluido e variação de temperatura com todos os tubos em aço inox.



Fonte: Autor, 2024.

Utilizando a equação 1 para se calcular a potência fornecida pelo equipamento em quilocaloria por hora, chega-se ao valor de:

$$P = 6.700 \times 0,288 \times (125,60 - 20)$$

$$P = 203.765,76 \text{ kcal/h}$$

Em relação ao aquecedor antes das modificações com os tubos trocadores de calor quadrados de aço SAE 1020, houve uma redução no fornecimento de potência de 8.663,90 kcal/h, resultando no déficit de 4%.

Para se manter a temperatura de saída do ar a 130° C, foi necessária uma potência maior, sendo o valor de 94.920 W obtido por tentativa e erro. Nas figuras 6.8 e 6.9, mostra-se o resultado desta simulação.

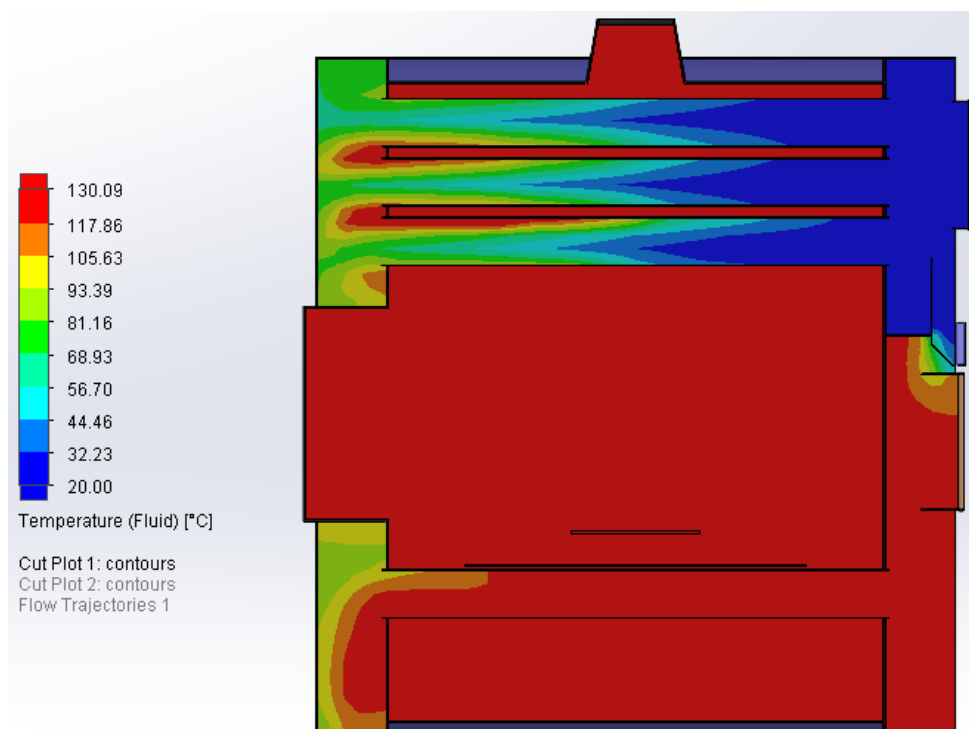
O aço inoxidável AISI 302 apresenta maior resistência a corrosão em comparação ao aço SAE 1020 resultando em uma vida útil maior. Com isso, a necessidade de manutenção para trocas dos tubos diminuirá, permitindo que o equipamento opere em condições ideais por um período maior.

Figura 6.8 – Resultado da simulação com todos os tubos em aço inox e potência de 94.920 W.

List of Goals				
Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
SG Average Temperature (Fluid 2)	129.092 °C	Achieved (IT = 182)	2.54783 °C	130.09 °C

Fonte: Autor, 2024.

Figura 6.9– Trajetória do fluido e variação de temperatura com todos os tubos em aço inox e potência de 94.920 W.



Fonte: Autor, 2024.

6.3 Estimativa do consumo diário de lenha

Para o cálculo de estimativa de consumo de lenha diário para os modelos simulados, foi definido o uso da lenha de eucalipto da espécie *Eucalyptus urograndis*, que segundo CONTIERO (2016) tem o poder calorífico inferior de 2.579,44 kWh/m³ a 10% de umidade, massa específica básica citado por COSTA (2011) de 552 kg/m³, o funcionamento do aquecedor por 24 horas ininterruptas e utilizados os valores de potência da câmara de combustão de cada modelo, onde a temperatura de saída do ar alcançou os 130° C.

Para o cálculo do consumo de lenha diário em metros cúbicos (m³) e em quilogramas, utilizou-se as equações 3 e 4 respectivamente:

$\text{Consumo } m^3 = \frac{\text{Potência da câmara de combustão}}{\text{Poder calorífico da lenha}} \times 24$	(3)
$\text{Consumo } kg = \text{Consumo } m^3 \times \text{Massa específica da lenha}$	(4)

Os resultados estão reunidos na tabela 4.

Tabela 5 – Consumo de lenha

Equipamento	Potência (W)	Consumo (m³)	Consumo (kg)
Original	93.000	0,865	477,65
Após modificação	93.300	0,868	479,20
Proposta	94.920	0,883	487,50

Fonte: Autor, 2024.

Em relação ao equipamento original, o aquecedor após as modificações irá consumir 1,55 kg a mais de lenha por dia para manter a mesma eficiência, o que resulta no aumento do consumo em 0,32%. Já o aquecedor com fins de proposta, irá consumir 9,85 kg a mais de lenha diariamente, sendo o seu aumento de 2,0%.

7 CONCLUSÃO

Um aquecedor a lenha situado em uma granja avícola, apresentou problemas em seu funcionamento e foi submetido a manutenção, onde foi alterado a geometria e material dos tubos trocadores de calor. Foram realizadas simulações no software *Solidworks* com o objetivo de comparar a eficiência do equipamento modificado em relação ao original e de um modelo de proposta ao proprietário.

Com as simulações realizadas, concluiu-se que, mesmo com a substituição dos 7 tubos danificados, não houve mudanças significativas no funcionamento e na eficiência térmica do equipamento. A alteração na geometria e no material dos tubos causou uma diminuição na temperatura do ar na saída do equipamento, mas esse déficit, inferior a 1%, é considerado irrisório e não afetou a operação e o manejo dos frangos. O principal objetivo da manutenção realizada pelo proprietário foi alcançado, já que o rompimento dos tubos devido à oxidação e altas temperaturas na câmara de combustão foi solucionado com a troca. Embora o defeito tenha causado perda de eficiência térmica, isso poderia ser contornado com o aumento do consumo de lenha, o que, por sua vez, geraria maiores temperaturas na câmara de combustão, potencialmente danificando outros componentes e resultando na passagem de gases prejudiciais para o aviário. A manutenção e a troca dos tubos resolveram esse problema, eliminando a mortalidade dos frangos causada pela passagem dos gases provenientes da combustão para o interior do aviário.

Os tubos de aço inox AISI 302 apresentam vida útil superior em relação aos tubos de aço SAE 1020 devido à sua alta resistência à corrosão. Recomenda-se ao proprietário substituir todos os tubos de aço SAE 1020 por tubos de aço inox AISI 302 para prolongar a vida útil do equipamento, porém, para manter a eficiência térmica próxima do equipamento original, serão necessários tubos com diâmetro de $\varnothing 114,3$ mm e aumento de 2% no consumo diário de lenha.

Outro fator importante para a vida útil do equipamento é o modo de operação. É preciso monitorar a temperatura de saída do aquecedor, não ultrapassando os 130° C orientado pelo fabricante, utilizando a quantidade correta de combustível e utilizar lenha com menor umidade.

8 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

- Instalar termômetro na saída do aquecedor a lenha para monitorar temperatura de saída do ar;
- Realizar treinamento com os funcionários da granja para operar o aquecedor a lenha de forma correta;
- Acompanhar ciclos de trabalho do aquecedor a lenha para analisar vida útil dos tubos;
- Realizar estudo financeiro para analisar se é compensatório a utilização dos tubos em aço inox propostos, relacionando a vida útil, custo dos tubos e manutenção e custo da lenha consumida.
- Instalar estufa para reduzir umidade da lenha utilizada como combustível.

REFERÊNCIAS

ABPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual de 2023**. São Paulo, p. 53 - 68. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/04/Relatorio-Anual-2023.pdf>. Acesso em 13 fev.2024.

ABREU, Valéria Maria Nascimento; DE ABREU, Paulo Giovanni. **Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil**. 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/901939/1/osdesafiosdaambienciasobreossistemas.pdf>. Acesso em: 13 ma. 2024.

AGRIMÍDIA. **Dark House: mais barato que o convencional**. 2008. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/dark-house-mais-barato-que-o-convencional/20080305-133508-3686>. Acesso em: 13 abr. 23.

ALASTUEY, Javier. **Como funciona a refrigeração evaporativa nas granjas**. Silos Cordoba, Córdoba, 22 set. 2021. Disponível em: <https://gandariaspain.com/pt-br/blog-pt-br/material-ganadero-pt-br/como-funciona-a-refrigeracao-evaporativa-nas-granjas/>. Acesso em: 02 dez. 2021.

ALBINO, Jacir José; BASSI, L. J.; SAATKAMP, M. G. **Regulagem e distribuição de comedouros tubulares e bebedouros pendulares em aviários convencionais**. 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/443809>. Acesso em: 15 abr. 2023

ALD Arcotherm. **Saiba mais sobre os tipos de comedouros para galinhas**. 15 jun. 2018. Disponível em : <https://arcotherm.com.br/saiba-mais-sobre-os-tipos-de-comedouros-para-galinhas/>. Acesso em: 12 mar. 2024.

ALLBIZ. **Aquecedores de ar**. 2024. Disponível em: <https://all.biz/br-pt/aquecedor-d800-g104392>. Acesso em 15 mar. 2024.

AVILA, V.S. de; JAENISCH, F.R.F.; PIENIZ, L.C.; LEDUR, M.C.; ALBINO, L.F.T.; OLIVEIRA, P.A.V. de. **Produção e manejo de frangos de corte**. Concórdia, SC: EMBRAPA; CNPSA, 1992.

CIDASC. Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina. **Custos de produção de frangos de corte e de suínos voltam a subir em setembro**. 2013. Material cedido pela Embrapa Suínos e Aves de Concórdia/SC. Disponível em: <http://www.cidasc.sc.gov.br/blog/2013/10/25/custos-de-producao-de-frangos-de-corte-e-de-suinos-voltam-a-subir-em-setembro/>. Acesso em: 06 nov. 23.

COBB-VANTRESS BRASIL LTDA. **Manual de Manejo de Frangos de Corte**. Guapiaçu, SP: Cobb-Vantress Brasil, 2009.

COLUSSI, JOANA. **Sistema americano aumenta produção de aves**. 2014. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/campo-e>

lavoura/noticia/2014/11/Sistema-americano-aumenta-producao-de-aves-4644602.html . Acesso em: 5 mar. 2024.

CONNOR, Nick. **O que é diâmetro hidráulico – definição**. 2019. Disponível em: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-diametro-hidraulico-definicao/> Acesso em: 10 fev. 2024.

CRIAÇÃO de animais: Criar animais, uma arte. **Sistemas de Criação de Galinhas Caipiras no Brasil**. 10 de nov. 2021. Disponível em: <https://criacaodeanimais.blogspot.com/2021/11/sistemas-de-criacao-de-galinhas.html>. Acesso em 01 mar. de 2024.

DE ABREU, Paulo Giovanni; ABREU, Valéria Maria Nascimento. **Ventilação na avicultura de corte**. 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58306/1/doc63.pdf>. Acesso em 13 abr. 2023.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P.; LAVINE, Adrienne S.; BERGMAN, Theodore L. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 7. Ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2014.

LOPES, Jackelline Cristine Ost. **Técnico em Agropecuária – Avicultura**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Floriano, PI: EDUFPI; UFRN, 2011.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação Industrial e Controle de Poluição**. 2. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Guanabara, 1990.

METALZAN. **Como utilizar ventilação por pressão positiva para ambientar seu aviário**. 2 jul. 2020. Disponível em: <https://www.metalzan.ind.br/post/como-utilizar-ventila%C3%A7%C3%A3o-por-press%C3%A3o-positiva-para-ambientar-seu-avi%C3%A1rio>. Acesso em: 5 mar. 2024.

MUNDIAL BRYSA. **Como funciona um climatizador evaporativo?**. 2011-2023. Disponível em: <https://mundialbrysa.com.br/como-funciona-um-climatizador-evaporativo/>. Acesso em 15 mar. 2024.

OLIVEIRA, Carlos Eduardo Gomes. **Instalações para a criação intensiva de aves de corte no Distrito Federal**. 2014. Disponível em https://bdm.unb.br/bitstream/10483/8731/1/2014_CarlosEduardoGomesOliveira.pdf. Acesso em 05 fev. 2024.

PEQUINI. **Aviário Pressão Negativa**. 2011. Disponível em: <https://aviculturasp.blogspot.com/2011/01/aviario-pressao-negativa.html>. Acesso em 5 mar. 2024.

ROBUSTEC. **Sistema intensivo na avicultura: conheça as vantagens e melhores práticas**. 2005-2024. Disponível em: <https://www.robustec.ind.br/blog/sistema-intensivo-na-avicultura-conheca-as-vantagens-e-melhores-praticas/>. Acesso em: 02 mar. 2024.

RUSSO, Jessica Conteçote. **Tudo que você precisa saber sobre os sistemas de produção de ovos.** 26 mar. 2019. Disponível em: <https://www.agrimidia.com.br/avicultura-industrial/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-os-sistemas-de-producao-de-ovos/>. Acesso em: 01 mar. 2024.

SKOV. **SKOV Pad cooling system.** 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JY4R6rSCmA8&t=140s>. Acesso em: 06 nov. 2023.