

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME TIMBOLA

**AUTOMAÇÃO MICROCONTROLADA DA VENTILAÇÃO MÍNIMA EM UMA
GRANJA DE FRANGOS DE CORTE A PARTIR DE SENSORES DE AMÔNIA E
DIÓXIDO DE CARBONO**

MEDIANEIRA

2025

GUILHERME TIMBOLA

**AUTOMAÇÃO MICROCONTROLADA DA VENTILAÇÃO MÍNIMA EM UMA
GRANJA DE FRANGOS DE CORTE A PARTIR DE SENSORES DE AMÔNIA E
DIÓXIDO DE CARBONO**

**Microcontrolled automation of minimum ventilation in a broiler farm using
ammonia and carbon dioxide sensors**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Alberto Noboru Miyadaira.

Coorientador: Yuri Ferruzzi.

MEDIANEIRA

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GUILHERME TIMBOLA

**AUTOMAÇÃO MICROCONTROLADA DA VENTILAÇÃO MÍNIMA EM UMA
GRANJA DE FRANGOS DE CORTE A PARTIR DE SENSORES DE AMÔNIA E
DIÓXIDO DE CARBONO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 11/fevereiro/2025

Alberto Noboru Miyadaira
Doutorado
Universidade Tecnológica federal do Paraná

Yuri Ferruzzi
Doutorado
Universidade Tecnológica federal do Paraná

Alex Lemes Guedes
Mestrado
Universidade Tecnológica federal do Paraná

Filipe Marangoni
Doutorado
Universidade Tecnológica federal do Paraná

MEDIANEIRA

2025

À minha esposa e aos meus pais, meus alicerces
para toda a vida.

AGRADECIMENTOS

Escrevo este pequeno texto com objetivo de usar deste espaço para deixar registrado o meu agradecimento por cada acontecimento, pessoa e lugar que contribuíram para o decorrer não somente deste trabalho, o qual encerra minha trajetória nesta universidade mas também todo o caminho percorrido até chegar esta etapa do curso.

Gostaria de estender meus agradecimentos a todos que ajudaram mas que não serão citados neste texto, mas sempre estarão comigo na memória como peças importantes.

Agradeço a Deus pela iluminação de colocar a engenharia na minha vida, por cada benção derramada e por Nossa Senhora me acompanhar durante toda a jornada.

Ao Grupo de Oração Universitário Frutos do Amor por permitir aprimorar a minha relação com Deus dentro deste ambiente.

A minha esposa que não desistiu de mim e enfrentou os desafios propostos sem desanimar, me apoiando e segurando firme a minha mão nas alegrias e tristezas deste caminho.

Gostaria de deixar registrado o meu reconhecimento aos meus pais que tanto lutaram para que fosse possível a mim chegar a esta etapa da vida, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Alberto Noboru, por aceitar esse desafio, pela motivação e sabedoria com que me guiou nesta trajetória. Ao meu Coorientador: Prof. Dr. Yuri Ferruzzi pelas contribuições tão importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores que durante a graduação me incentivaram e exigiram para tirar o melhor de mim.

Aos colegas que fiz durante o curso.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho.

*“De Deus a graça,
na família o aconchego do lar,
para a Engenharia, construção e trabalho”.*

RESUMO

A avicultura é um setor essencial da produção agropecuária brasileira, com significativa participação na economia nacional e crescimento contínuo impulsionado pelo avanço tecnológico. Os aviários desempenham um papel fundamental nesse cenário, proporcionando ambientes controlados por meio de sistemas de monitoramento e automação climática. No entanto, um dos principais desafios enfrentados é a alta concentração de gases prejudiciais, como amônia (NH_3) e dióxido de carbono (CO_2), que podem comprometer a saúde das aves e dos trabalhadores. Este estudo teve como objetivo desenvolver um protótipo automatizado para controle da concentração desses gases no ambiente interno de uma granja. O sistema foi baseado no uso de um Arduino Mega 2560, integrando sensores MQ137 para detecção de amônia e MG811 para dióxido de carbono. Os testes foram conduzidos em um aviário comercial na cidade de Céu Azul, Paraná, onde o protótipo foi implementado para avaliar sua eficácia no controle da ventilação mínima. Os resultados demonstraram que, além de manter a ventilação cíclica recomendada, o sistema permitiu um aumento significativo no tempo de ventilação em resposta às concentrações de gases detectadas. Dessa forma, o protótipo mostrou-se eficiente na melhoria das condições ambientais da granja, contribuindo para o bem-estar das aves e a otimização do manejo.

Palavras-chave: microcontroladores; aviários; controle automático.

ABSTRACT

Poultry farming is an essential sector of Brazilian agricultural production, significantly contributing to the national economy and experiencing continuous growth driven by technological advancements. Poultry houses play a fundamental role in this scenario, providing controlled environments through monitoring and climate automation systems. However, one of the main challenges faced is the high concentration of harmful gases, such as ammonia (NH_3) and carbon dioxide (CO_2), which can compromise the health of both birds and workers. This study aimed to develop an automated prototype to control the concentration of these gases inside a poultry farm. The system was based on an Arduino Mega 2560, integrating MQ137 sensors for ammonia detection and MG811 sensors for carbon dioxide. The tests were conducted in a commercial poultry house in Céu Azul, Paraná, where the prototype was implemented to evaluate its effectiveness in controlling minimum ventilation. The results demonstrated that, in addition to maintaining the recommended cyclic ventilation, the system enabled a significant increase in ventilation time in response to detected gas concentrations. Thus, the prototype proved to be efficient in improving the poultry house environment, contributing to bird welfare and optimizing management.

Keywords: microcontrollers; aviaries; automatic control.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivos específicos.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	Avicultura de corte	15
3.2	Ambiência	16
3.3	Gases.....	17
3.3.1	Gás dióxido de carbono.....	17
3.3.2	Gás amônia	18
3.4	Automação.....	19
3.4.1	Arduino	19
3.4.2	Sensores de gás.....	20
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1	Componentes do projeto	25
4.1.1	A Granja	25
4.1.2	O Protótipo	27
4.1.3	Sensores eletroquímicos e calibração	34
4.2	Programação do protótipo.....	35
5	RESULTADOS.....	37
5.1	Dados Coletados	38
6	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

Acompanhar, gerenciar e coletar informações de maneira autônoma tem sido cada vez mais comum nas atividades do dia a dia, na indústria e principalmente na cadeia de produção.

O primeiro e principal fator para se inserir tanta tecnologia nos processos de produção deve-se ao lucro e a confiabilidade dos sistemas, sabemos que toda instituição seja ela qual for visa maximizar seus resultados e a automação tem contribuído fortemente para esse cenário cada vez mais promissor, quem conhece as etapas e os detalhes que passariam despercebido aos olhos percebe aí diversas oportunidades de ajustes que permitem uma nova abordagem e conseqüentemente resultados melhores e mais precisos.

Cada vez mais a substituição da mão de obra e decisão humana dentro dos processos produtivos tem sido em um modelo de consultoria e não a decisão final, repetida a cada iteração, ou seja quem supervisiona e orienta o que deve ser feito e como deve ser feito ainda é o ser humano, porém de uma forma muito mais imparcial no quesito de avaliar apenas visivelmente, ou de forma manual, mas sim com a ajuda de instrumentos de medição, sensores, controladores até mesmo de forma remota.

Todo esse cenário é possível graças a grande quantidade de dispositivos desenvolvidos e aplicados nas linhas de produção, máquinas, ambientes que facilitam mensurar os dados que são gerados a cada instante. Sensores acoplados a controladores lógicos programáveis, redes inteligentes, microcontroladores, faz com que todo esse processo de gestão, operação e avaliação final seja facilitado e possível de maneira a diminuir custos e aumentar a produção.

Na produção avícola da mesma forma é possível observar saltos tecnológicos de um processo todo manual e casual, para processos cada vez mais complexos e permitindo explorar mais as capacidades produtivas das aves. Sabe-se que a ambiência é o fator chave para o máximo desempenho das linhagens de frangos a quem diga ainda que é o fator determinante para bons resultados zootécnicos. Há nesse espaço então uma abertura para a inserção de tecnologia associadas a produção, para alcançar resultados melhores, aumentar a produtividade para as empresas com um produto de qualidade superior, e aos produtores diminuição na

mão de obra graças aos sistemas de controle e aumento do lucro final (COBB VANTRESS, 2018).

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é realizar a automação do controle da concentração de gases no interior do aviário, utilizando a plataforma Arduino e sensores de baixo custo.

2.1 Objetivos específicos

Além do objetivo principal, este trabalho tem como objetivos específicos:

- Projetar e construir equipamento protótipo, utilizando ferramentas e componentes baixo valor agregado, programáveis, baseados em soluções simples e de acesso comum capazes de controlar a concentração de gases em aviários;
- Implementar o sistema de protótipo em uma granja e validar os dados com o usuário.
- Comprovar a eficácia em melhoria do controle da concentração de gases do aviário.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir, abordaremos uma revisão literária dos principais temas deste trabalho.

3.1 Avicultura de corte

A avicultura de corte é uma atividade de grande importância na indústria agropecuária, desempenhando um papel fundamental no fornecimento de carne de frango para consumo humano. Trata-se de um setor altamente especializado, dedicado à criação e produção de frangos com o objetivo de abastecer o mercado de carne de aves (TINÔCO, 2001).

Devido a sua notoriedade é importante compreender os aspectos econômicos, ambientais, sanitários e sociais envolvidos na produção de frangos de corte, bem como as tecnologias e práticas que permitem o desenvolvimento sustentável desse setor. A avicultura de corte desempenha um papel fundamental na economia do Brasil, consolidando-se como uma das principais atividades agropecuárias do país. Com um dos maiores rebanhos de frangos do mundo, o Brasil é um dos líderes globais na produção e exportação de carne de frango (SILVA, 2020).

Neste contexto, a avicultura de corte brasileira é um setor de destaque, caracterizado por diversos fatores relevantes.

A avicultura de corte é um dos pilares da agroindústria brasileira, contribuindo significativamente para a economia do país. Gera empregos diretos e indiretos, movimenta a cadeia produtiva de grãos (principalmente milho e soja, usados na alimentação das aves), e é responsável por uma parcela expressiva das exportações agropecuárias brasileiras (SINDIVIAPAR, 2020).

O setor avícola no Brasil é altamente tecnológico, com fazendas e instalações modernas que visam o bem-estar animal, a produtividade e a qualidade do produto final. A pesquisa e inovação desempenham um papel importante no desenvolvimento de raças de frangos de corte mais eficientes e resistentes a doenças. Há uma crescente preocupação com a sustentabilidade na avicultura de

corte no Brasil. Os produtores buscam práticas que minimizem o impacto ambiental, como o tratamento de resíduos e o uso eficiente de recursos naturais (ZEN, 2014).

Apesar de seu sucesso, a avicultura de corte no Brasil também enfrenta desafios como questões sanitárias, custos de produção e flutuações nos preços dos insumos. No entanto, o setor continua a crescer e a se adaptar a novas demandas, explorando oportunidades no mercado interno e nas exportações (CARON, 2023).

Em resumo, a avicultura de corte é um setor muito importante na agroindústria brasileira, desempenhando um papel essencial na produção de alimentos, na geração de empregos e no comércio internacional. O Brasil tem demonstrado um compromisso com a inovação, sustentabilidade e qualidade, consolidando sua posição como um dos principais produtores de carne de frango do mundo.

3.2 Ambiência

A ambiência na avicultura de corte refere-se ao ambiente controlado e às condições de alojamento proporcionadas às aves durante todo o ciclo de produção, desde a fase de cria até o abate. A criação de frangos de corte em um ambiente adequado é fundamental para garantir o bem-estar das aves, a produtividade e a qualidade da carne produzida (COBB VANTRESS, 2018).

O controle da temperatura é crítico. Frangos são sensíveis a variações de temperatura, e condições muito quentes ou frias podem afetar negativamente seu desempenho. Portanto, é comum o uso de sistemas de aquecimento e resfriamento nas instalações avícolas. A iluminação controlada é essencial para regular o ciclo de vida das aves, influenciando a produção de ovos e o crescimento dos frangos. Um ciclo de luz adequado é implementado para otimizar o desenvolvimento e o desempenho das aves (AVIAGEN, 2018).

A qualidade da cama em que as aves são alojadas é crucial para evitar problemas de saúde, como lesões nas patas e infecções. A cama deve ser mantida limpa e seca, com a devida reposição ao longo do ciclo de produção (SILVA, 2020).

O espaço disponível nas instalações deve ser suficiente para permitir o comportamento natural das aves, como andar, ciscar e esticar as asas. É importante respeitar as regulamentações sobre a densidade populacional para evitar o estresse

e problemas de saúde. A higiene e o controle de doenças são críticos. As instalações devem ser mantidas limpas e desinfetadas regularmente, e as aves devem ser monitoradas quanto à saúde e imunização (CARON, 2023).

A ventilação adequada é necessária para garantir a qualidade do ar e evitar a acumulação de gases tóxicos, como amônia e dióxido de carbono, que podem prejudicar a saúde das aves. Ventiladores e sistemas de exaustão são usados para manter o ar fresco e circulante nas instalações. Tendo em vista que, a diretriz de qualidade do ar apresenta as faixas adequadas de concentração dos diversos gases encontrados no interior da granja, bem como disposto na Tabela 1.

Tabela 1 - Diretrizes da qualidade do ar para aves de corte

DIRETRIZES DA QUALIDADE DO AR	
Oxigênio %	>19,6%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	< 0.3% / 3,000 ppm
Monóxido de Carbono	<10 ppm
Amônia	<20 ppm
Poeira	<3.4 mg/m ³ (.0001 oz/35.3 ft ³)
Umidade Relativa	<70%

Fonte: Adaptado de Cobb Vantress (2018, p. 68)

Um ambiente bem controlado na avicultura de corte não apenas promove o bem-estar das aves, mas também contribui para a produção eficiente, resultando em carne de frango de alta qualidade. Além disso, considerando o crescente interesse na sustentabilidade e na produção animal, a ambiência adequada é cada vez mais relevante no setor avícola (COBB VANTRESS, 2018).

3.3 Gases

3.3.1 Gás dióxido de carbono

A presença de dióxido de carbono (CO₂) na avicultura de corte é uma consideração importante, uma vez que esse gás pode afetar o ambiente nas instalações de criação das aves. O CO₂ é produzido pelas próprias aves durante a respiração e também pode se acumular devido a outros fatores, o que pode ter

consequências significativas para a saúde e o bem-estar das aves (ALMUHANNA, AHMED e YOUSIF-AL, 2011).

O controle do CO² nas instalações de avicultura é essencial. A ventilação adequada é necessária para eliminar o excesso de CO², mantendo os níveis em um intervalo saudável para as aves. Níveis elevados de CO² podem causar estresse, reduzir o crescimento e a eficiência da alimentação, afetar a qualidade da carne e aumentar o risco de doenças respiratórias (AVIAGEN, 2018).

É importante monitorar regularmente os níveis de CO² nas instalações avícolas para garantir que eles estejam dentro dos limites aceitáveis. Isso pode ser feito por meio de sensores de qualidade do ar. A ventilação adequada também é crucial para evitar o acúmulo de amônia e outros gases tóxicos, que podem ser um subproduto do esterco de aves. Uma boa gestão de cama, limpeza e ventilação pode ajudar a manter um ambiente mais saudável (HUBBARD BREEDERS, 2022).

Em resumo, o controle adequado do CO² na avicultura de corte é fundamental para garantir o bem-estar das aves e a produção eficiente. A ventilação, o monitoramento regular dos níveis de CO² e o cumprimento das regulamentações são aspectos essenciais para manter um ambiente saudável e produtivo nas instalações de criação de frangos de corte.

3.3.2 Gás amônia

O gás amônia (NH₃), também conhecido como amoníaco, é um subproduto da decomposição do esterco de aves na avicultura de corte e pode ter impactos significativos na saúde e no bem-estar das aves, bem como no ambiente das instalações de criação. A amônia é produzida quando o esterco de aves contendo nitrogênio é decomposto por microrganismos. O nitrogênio nas fezes e na urina das aves se transforma em NH₃ quando se decompõe (ZANATTA, 2007).

Níveis elevados de amônia no ambiente podem afetar negativamente a saúde das aves. A exposição a concentrações excessivas de NH₃ pode causar irritação nas vias respiratórias, problemas oculares, estresse e redução no desempenho das aves. A ventilação adequada nas instalações é crucial para eliminar o NH₃ e manter níveis aceitáveis de qualidade do ar. Isso envolve a renovação do ar e a remoção do gás das instalações. O uso de sistemas de

ventilação controlada é comum para atingir esse objetivo (ULLMAN, MUKHTAR, et al., 2004).

Em resumo, o controle adequado da amônia na avicultura de corte é importante para garantir o bem-estar das aves, a qualidade do ar nas instalações e o cumprimento das regulamentações. A ventilação, o monitoramento regular, a gestão da cama e a conformidade com as normas são os fatores a ser observados para reduzir os riscos associados à presença de amônia na produção de frangos de corte.

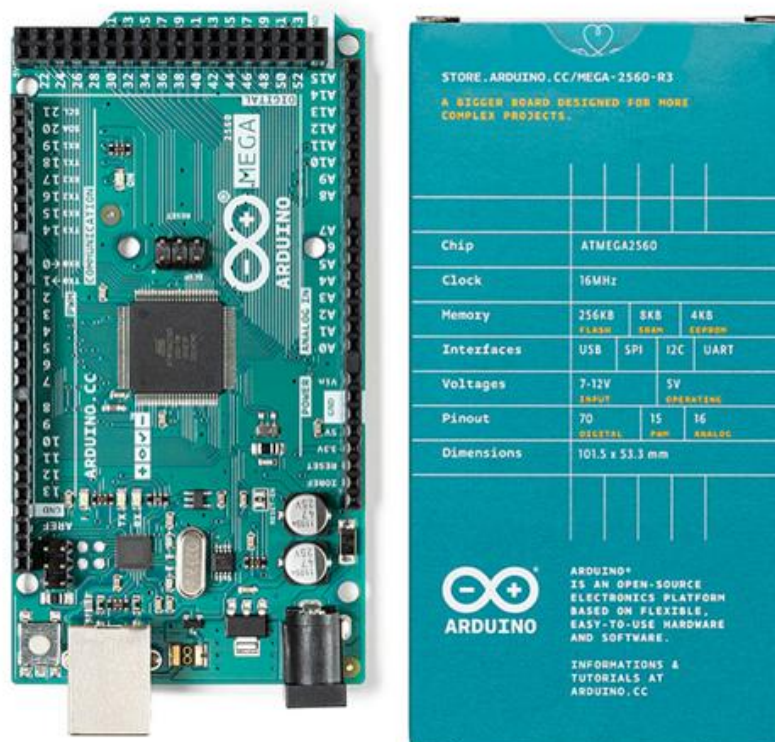
3.4 Automação

3.4.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma versátil de código aberto que pode ser aplicada com sucesso na automação da avicultura de corte, contribuindo para melhorar o gerenciamento das operações, otimizar o bem-estar das aves e aumentar a eficiência da produção. Sensores conectados a um Arduino podem monitorar e controlar as condições ambientais nas instalações de criação, incluindo temperatura, umidade e qualidade do ar. O Arduino pode acionar sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação para garantir que as condições estejam dentro dos limites ideais (MC ROBERTS, 2015).

O Arduino Mega 2560 (Figura 1), é produzido pela empresa italiana Smart Projects. Arduino é uma placa completa de programação aberta usada na eletrônica pois já possui diversos componentes e sistemas embarcados que facilitam a sua adaptações nas mais diversas aplicações. Usa o microcontrolador Atmel AVR com suporte de entrada/saída embutido, uma linguagem de programação nativa baseada em Linguagem de programação C, na sua própria interface de programação Arduino IDE, algumas características podemos ver na Figura 1.

Figura 1 - Placa Arduino Mega 2560 e suas especificações



Fonte: Arduino (2024)

O Arduino pode ser configurado para acionar sistemas de alarme em caso de falhas em equipamentos críticos, como sistemas de ventilação ou refrigeração, ou quando ocorrem condições ambientais adversas. Os dados coletados pelos sensores e dispositivos Arduino podem ser transmitidos a sistemas de monitoramento centralizados por meio de conectividade com a Internet. Isso permite o acompanhamento remoto e o acesso a dados em tempo real (MARTIN, NOBLE e HOCHENBAUM, 2013).

A automação avícola com Arduino não apenas melhora a eficiência da produção e o bem-estar das aves, mas também permite um melhor gerenciamento das operações e tomada de decisões informadas. Essas soluções contribuem para práticas mais sustentáveis e precisas da atividade comercial.

3.4.2 Sensores de gás

Os sensores de gás MQ e MG são uma série de sensores de gás semicondutores amplamente utilizados para detectar diversos tipos de gases em ambientes. Eles são populares devido ao seu custo baixo de aquisição e pouca

complexidade para aplicação. Existe uma grande gama de sensores MQ e MG onde cada um é projetado para ser sensível a um tipo específico de gás, como monóxido de carbono (CO), metano (CH⁴), amônia (NH³), dióxido de enxofre (SO²) e muitos outros. Alguns exemplos comuns de sensores de gás MQ e MG incluem o MQ-2, MQ-3, MQ-7, MQ-135, MG-811 e assim por diante (STEFAN, FERREIRA e SOUSA, 2020).

Os sensores MQ e MG utilizam um material semicondutor sensível a determinados gases. A resistência desse material muda quando exposto ao gás-alvo, o que é medido para determinar a concentração do gás. A saída dos sensores MQ e MG é geralmente analógica e pode ser lida como um valor de tensão ou resistência que varia com a concentração do gás. Essa saída analógica pode ser conectada a um microcontrolador para interpretação (Sensoriamento em Tempo Real Utilizando Sensores MQ, 2016).

Os sensores MQ e MG geralmente exigem calibração para fornecer leituras precisas. Isso envolve a exposição do sensor a concentrações conhecidas do gás-alvo e o ajuste da saída do sensor de acordo com essas concentrações. A sensibilidade dos sensores MQ e MG pode variar com a temperatura e a umidade, o que significa que as leituras podem ser afetadas por esses fatores ambientais (NAGY, RISQUET, et al., 2020).

O sensor MG-811 é um dispositivo de detecção de gás que é projetado especificamente para detectar concentrações de gás de dióxido de carbono (CO²) no ambiente. Este sensor utiliza um princípio de funcionamento baseado em tecnologia de detecção de gás semicondutor, que altera sua resistência elétrica em resposta às concentrações de CO² no ar.

Figura 2 – Sensor MG811

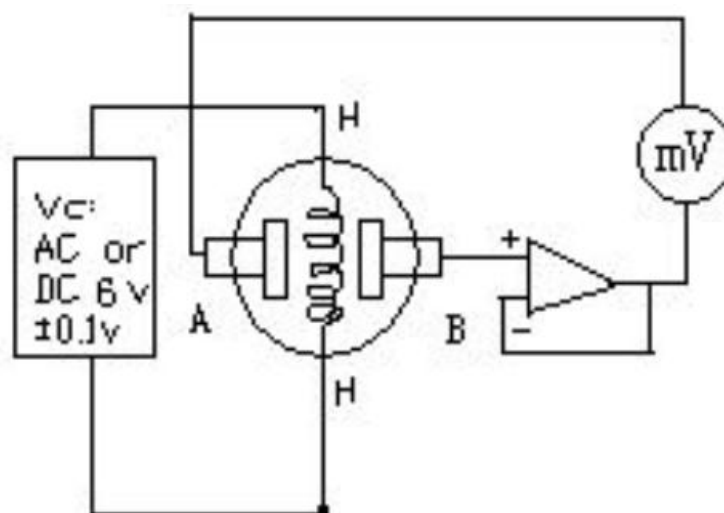


Fonte: Datasheet MG811 CO2 Sensor (2017)

O sensor MQ-811 é sensível ao dióxido de carbono (CO_2) na faixa de concentração de 300 a 10.000 partes por milhão (ppm). Ele é projetado para monitorar níveis de CO_2 em ambientes internos e externos.

O sensor MQ-811 opera com base na variação da resistência elétrica de seu material semiconductor quando exposto a concentrações de CO_2 . A mudança na resistência é proporcional à concentração de gás detectado.

Figura 3 – Princípio de funcionamento do sensor MG-811



Fonte: Datasheet MG811 CO2 Sensor (2017)

O sensor MQ-811 é frequentemente usado em projetos de monitoramento de qualidade do ar em ambientes internos, sistemas de ventilação, dispositivos de

controle de CO² em estufas e em outros aplicativos relacionados à medição de concentração de CO².

O sensor MQ-137 é um sensor de gás que é projetado para detectar concentrações de amônia (NH₃), monóxido de carbono (CO) e benzeno (C₆H₆) no ambiente. Este sensor utiliza um princípio de funcionamento baseado em tecnologia de detecção de gás semiconductor, que altera sua resistência elétrica em resposta às concentrações desses gases no ar.

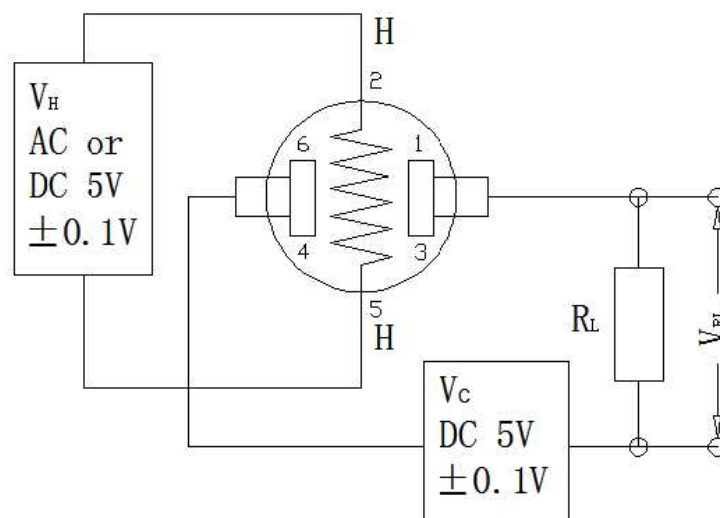
Figura 4 – Sensor MQ-137



Fonte: Datasheet Ammonia Gas Sensor (2021)

Ele é projetado para detectar esses gases em ambientes onde sua presença possa ser um problema de segurança ou saúde. Opera com base na variação da resistência elétrica de seu material semiconductor quando exposto a concentrações de NH₃, CO ou C₆H₆. A mudança na resistência é proporcional à concentração do gás detectado.

Figura 5 – Princípio de funcionamento do sensor MQ-137



Fonte: Datasheet Ammonia Gas Sensor (2021)

O sensor MQ-137 é frequentemente usado em projetos de monitoramento de qualidade do ar em ambientes internos e em locais onde a presença de amônia, monóxido de carbono ou benzeno possa representar um risco. Ele pode ser utilizado em sistemas de detecção de vazamentos, sistemas de segurança e em aplicações relacionadas à saúde ocupacional.

Os sensores MQ são usados em uma variedade de aplicações, incluindo detecção de vazamentos de gás, sistemas de controle de qualidade do ar, sistemas de alarme de segurança e monitoramento ambiental.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

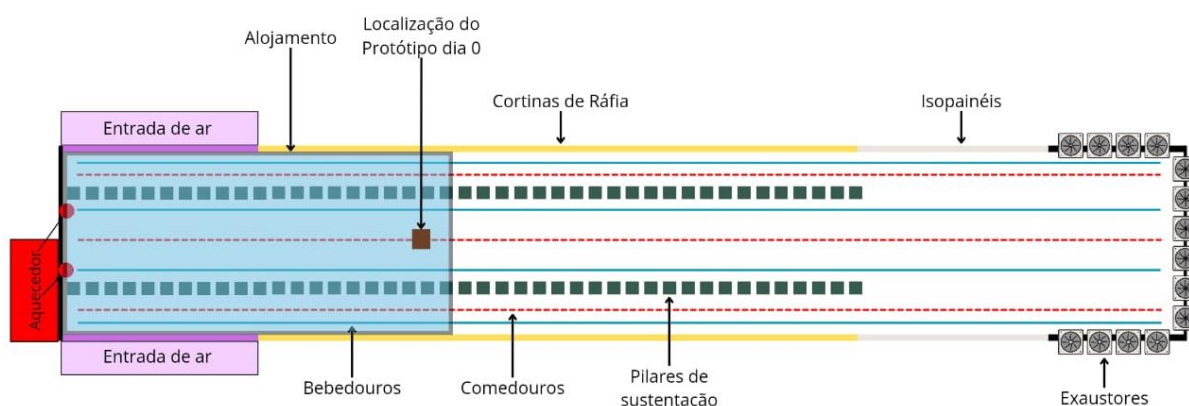
Este capítulo tem como objetivo detalhar o processo adotado durante as etapas de projeto e execução da pesquisa. Serão apresentados os componentes utilizados no desenvolvimento dos protótipos, incluindo suas especificações, custos e aplicações. Além disso, será descrito o ambiente de instalação do dispositivo, abordando os equipamentos envolvidos, o sistema de segurança adotado e as condições consideradas para a realização do estudo.

4.1 Componentes do projeto

4.1.1 A Granja

O experimento foi realizado em uma granja de frangos de corte comercial localizada no interior do município de Céu Azul, no oeste do estado do Paraná. A granja utilizada possui dimensão de 12x185m, totalizando 2220m², e com altura interna média de 2,70m, possui em parte da construção duas fileiras de pilares de concreto a cada 3m de distância e parte vão livre, coberto parte de telha de barro e parte em aluzinco metálico. A granja é forrada com lona amarela de ráfia em toda extensão, e nas laterais é misto lona de ráfia amarela e isopainel PIR (Poliisocianurato).

Figura 6 – Croqui da granja



Fonte: Autoria própria (2024)

O sistema de ventilação adotado na granja era de túnel de vento tipo pressão negativa que continha 14 exaustores de 53" e motor de 1,5cv acionados em duplas (7 acionamentos). A granja possui um sistema de refrigeração tipo placa evaporativa de 24m de cada lado junto a entrada de ar e um sistema de nebulização de resfriamento e desinfecção instalado com bicos ao longo da granja. A alimentação era feita de forma automática por 3 linhas de comedouros e a água era fornecida em quatro linhas de bebedouros de bico tipo *nipple*. O aquecimento da granja era do tipo fornalha a ar que usa material misto (lenha, pellet, briquete) para combustão. A iluminação se dava por lâmpadas do tipo LED 9W dispostas uniformemente ao longo da granja. Todos os sistemas de ventilação, resfriamento, aquecimento e abastecimento de água, ração e iluminação eram automatizados.

Ao longo da granja foram utilizadas divisórias de PVC transversais (quatro fileiras) para a etapa de alojamento ser limitada e mais futuramente condicionar as aves bem divididas nas áreas de acomodação e disposição evitando amontoamento ou migração excessiva. Para a etapa inicial foi utilizado uma lona transversal disposta no final do espaço definido para o alojamento diminuindo o volume do alojamento (para facilitar os cuidados e aquecimento), delimitando a área conforme a idade das aves, de maneira a permitir que ela levantasse no momento da ventilação devido a corrente de ar.

A partir da disposição das aves que são condensadas em uma extremidade do galpão no dia do alojamento e vão sendo soltas a partir dos dias foi, possível calcular a troca mínima de ar necessária segundo o manual de criação da genética, de acordo com o volume da área ocupada, onde o protótipo ia sendo carregado sempre próximo a lona transversal, tendo em vista que este sempre é o ponto de maior acúmulo de gases devido à disposição do tipo de ventilação utilizado na granja onde o ar entra em uma das extremidades e é deslocado por meio de pressão negativa para fora devido a ação dos exaustores.

Para o cálculo da ventilação mínima os seguintes parâmetros são necessários:

$$\text{Volume da granja} = \text{Largura} \times \text{Altura} \times \text{Comprimento do Alojamento} \quad (1)$$

$$\text{Vazão total exaustores} = \text{Número de exaustores utilizado} \times \text{Vazão} \quad (2)$$

$$\text{Tempo mínimo para uma troca de ar completa} = 5 \text{ min} \quad (3)$$

$$\text{Volume Total } m^3 / \text{tempo mínimo para troca completa} = \text{troca } m^3/\text{min} \quad (4)$$

$$\text{Total } m^3 / \text{Vazão total dos exaustores}/\text{min} = \text{Tempo ligado} \quad (5)$$

Na Equação 1, o volume da granja é determinado a partir dos valores de largura e altura, que permanecem constantes, enquanto o comprimento pode variar ao longo dos dias. A fórmula utilizada segue o princípio básico do cálculo de volume.

Para obter o resultado da Equação 2, é necessário multiplicar o número de exaustores acionados pela vazão total de cada um, conforme especificado no manual técnico do fabricante.

A Equação 3 segue um padrão estabelecido nos manuais de criação, conforme orientações genéticas, indicando um tempo de troca de ar que varia entre 5 e 8 minutos, dependendo da linhagem das aves (COBB VANTRESS, 2018).

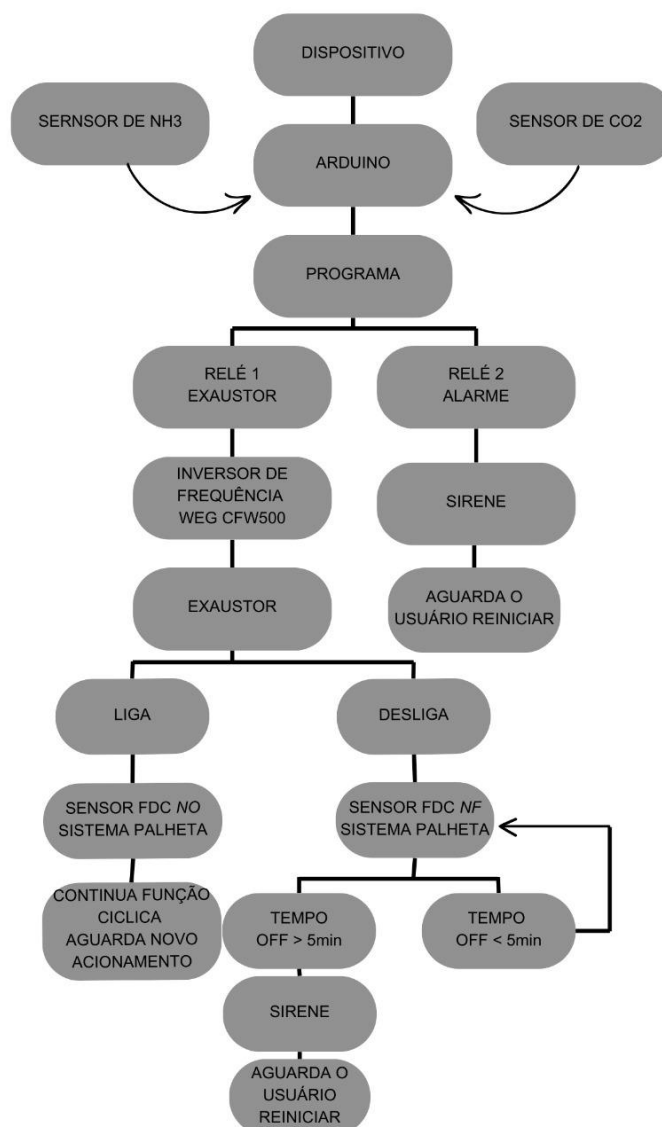
A Equação 4 permite calcular a quantidade de metros cúbicos de ar que deve ser removida do ambiente a cada troca completa de ar, assumindo um ciclo de renovação de 5 minutos.

Na Equação 5, o cálculo considera o volume mínimo de ar a ser trocado no ciclo e a vazão total dos exaustores por minuto. A divisão desses valores resulta no tempo necessário de funcionamento dos exaustores, determinando o período da ventilação mínima cíclica a cada 5 minutos.

4.1.2 O Protótipo

A plataforma Arduino foi utilizada para a leitura de sensores de gases analógicos, acionamento de relés e implementação do programa, permitindo a avaliação do seu desempenho. O sistema demonstrou-se funcional e atendeu às exigências do projeto de forma satisfatória.

Fluxograma 1 – Princípio de funcionamento do dispositivo de leitura e equipamentos do sistema.



Fonte: Autoria própria (2024)

No Fluxograma 1, é possível visualizar as etapas do dispositivo protótipo, as condições estabelecidas e os equipamentos acionados conforme a detecção de um ou ambos os gases. Além disso, o sistema de alarme é ativado em caso de falhas críticas de concentração ou ausência de ventilação.

O programa embarcado apresentou baixa demanda de memória e processamento, possibilitando que o dispositivo operasse de maneira eficiente dentro das necessidades do projeto.

O protótipo foi instalado no centro da granja, alguns centímetros acima da altura das aves, evitando o contato direto com os bicos e garantindo maior precisão nas medições, conforme ilustrado no croqui da granja.

Figura 7 – Protótipo instalado no dia zero, antes do alojamento



Fonte: Aatoria própria (2024)

O protótipo foi desenvolvido como um sistema capaz de realizar a leitura e o processamento dos dados coletados na granja durante o período de testes. Para as ações de controle, utilizou-se a concentração de gases em partes por milhão(ppm) medida por cada sensor, sendo o modelo MQ-137 para amônia e o MG-811 para dióxido de carbono.

A placa de prototipagem escolhida foi a Arduino Mega 2560, responsável por intermediar a comunicação entre os sensores e os atuadores. Durante a fase de testes, uma protoboard foi empregada para facilitar as conexões dos componentes do circuito.

A alimentação elétrica do sistema foi fornecida por uma fonte chaveada de 12V e 2A, com reguladores de tensão ajustados conforme as especificações de cada componente. O protótipo foi montado em uma caixa plástica para abrigar tanto os sensores quanto a placa do dispositivo. Além disso, os sensores foram protegidos com uma tela, minimizando o acúmulo de poeira e evitando o contato direto com as aves.

Figura 8 – Protótipo montado



Fonte: Aatoria Própria (2024)

A conexão de energia elétrica se dava, por um cabo flexível do tipo PP 4x1mm, que foi instalado ao sensor e ao Quadro principal, solto na cama da granja formando uma extensão para a fonte de energia 220VCA conectada ao protótipo e duas vias do cabo para o acionamento do relés de acionamento do inversor e do alarme. A Tabela 2 demonstra os equipamentos e materiais que foram utilizados, bem como seu custo de aquisição e o valor final do protótipo.

Tabela 2 - Materiais e custos para construção do protótipo

Material	Quantidade	Valor Unitário	Total
Placa Arduino Mega 2560	1	R\$ 93,06	R\$ 93,06
Sensor de gás CO ₂ MG-811	1	R\$ 277,91	R\$ 277,91
Sensor de gás NH ₃ MQ-137	1	R\$ 196,00	R\$ 196,00
Fonte alimentação 12v	1	R\$ 12,50	R\$ 12,50
Cabo alimentação PP 4x1mm	200	R\$ 3,50	R\$ 700,00
Jumpers	20	R\$ 0,25	R\$ 5,00
Caixa plástica	1	R\$ 15,68	R\$ 15,68
Sirene 12v	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Módulo Relé 1 Canal - 5v/10a	2	R\$ 12,51	R\$ 25,02
Regulador De Tensão 6v Lm7806	1	R\$ 2,69	R\$ 2,69
Regulador De Tensão 5v Lm7805	1	R\$ 2,69	R\$ 2,69
Total			R\$ 1.350,55

Fonte: Aatoria Própria (2024)

De acordo com a Tabela 2 de custos, o investimento total para a construção do protótipo foi de R\$ 1.350,55. Para fins de comparação, foi realizada uma pesquisa para avaliar a viabilidade do protótipo em relação a equipamentos comerciais disponíveis no mercado. Um detector digital portátil de amônia, com faixa de medição de 0 a 100 ppm, custa aproximadamente R\$ 4.329,02, enquanto um medidor de dióxido de carbono, com faixa de medição de 400 a 5000 ppm, tem um valor estimado de R\$ 2.616,77. Assim, a aquisição desses dois dispositivos resultaria em um custo total de R\$ 6.945,79.

Ao comparar o valor dos equipamentos comerciais com o custo de construção do protótipo, observa-se que o protótipo representa aproximadamente 20% do custo total dos dispositivos convencionais, demonstrando sua viabilidade econômica.

A granja já possuía um controlador de temperatura e umidade, além de um sistema de alarme para falhas de energia e variações extremas de temperatura. Assim, o protótipo foi projetado para acionar apenas dois exaustores, substituindo o acionamento via controlador da granja.

O controle dos exaustores foi realizado por meio de um inversor de frequência WEG modelo CFW500, já presente na granja e responsável pelo acionamento dos dois exaustores simultaneamente. Para integrar o protótipo ao sistema existente, foi necessária uma pequena modificação no circuito, removendo o controlador principal e substituindo seu acionamento por um relé controlado diretamente pelo protótipo.

Figura 9 – Inversor de frequência CFW-500 WEG

Fonte: Autoria própria (2024)

Considerando a necessidade de manter a ventilação e garantir a segurança das aves, a granja já conta com um sistema de proteção contra falhas na ventilação. Esse sistema opera de forma cíclica, com um ciclo médio de 5 minutos, conforme estabelecido anteriormente.

O sistema, denominado "palheta", é composto por um sensor de fim de curso mecânico instalado na frente de um dos exaustores, um relé de tempo e um contator. Caso a granja fique sem ventilação por mais de 5 minutos, o sistema aciona um alarme, alertando sobre a falha. Esse mecanismo de segurança foi projetado para detectar possíveis falhas mecânicas, como problemas no motor, na correia ou nos cabos.

Além disso, sua operação independente tanto do controlador principal quanto do protótipo garante maior segurança, atuando como um recurso adicional caso ocorra alguma falha na leitura dos sensores ou um travamento do sistema.

Figura 10 - Sistema de proteção contra falhas mecânicas (Palheta)



Fonte: A autoria própria (2024)

A granja dispunha de um sistema próprio de geração de energia com transferência automática em caso de falta de fornecimento elétrico.

Durante o período de testes, devido à idade das aves e às condições climáticas, não foi necessário acionar exaustores adicionais para controle de temperatura. Essa condição foi estabelecida para evitar interferências na análise, pois, caso o inversor fosse acionado devido ao calor, seria difícil diferenciar o incremento da ventilação mínima da necessidade de ventilação por temperatura. Para futuras análises em um período mais extenso, será necessário desenvolver uma estratégia para armazenar separadamente os dados referentes ao acionamento da ventilação mínima e da ventilação por temperatura.

Para garantir o funcionamento contínuo do protótipo e prevenir falhas, travamentos do programa ou qualquer outro problema que pudesse colocar as aves em risco, foi adotado o valor cíclico recomendado no manual de criação. Esse valor, considerado seguro, estabelece uma troca completa de ar a cada 5 minutos, podendo ser ajustado caso sejam identificados déficits na ventilação.

Com o apoio do granjeiro responsável, foi elaborada a Tabela 3, contendo um cronograma que define os dias em que a área ocupada pelas aves seria ampliada. Nessas ocasiões, o protótipo seria reposicionado mais ao fundo da granja, permitindo simular os parâmetros de ventilação cíclica de acordo com o crescimento das aves.

Tabela 3 - Cálculo do volume da granja e calendário de espaço proposto

Dia	Comprimento do Alojamento (m)	Espaço Aumentado (m)	Volume Total (m ³)
1	48	0	1555
3	66	18	2138
5	84	18	2722
7	105	21	3402
9	130	25	4212
12	155	25	5022
14	185	30	5994

Fonte: Aatoria Própria (2024)

Ao coletar os dados foi utilizado um equipamento da marca Dienmern modelo DM126 NH3 0-50ppm, para verificar a de amônia na granja e um equipamento da marca SZKOSTON modelo WiFi CO₂ Detector 3 in 1 Temperature Humidity Air Tester 400-5000ppm, utilizado para acompanhar a concentração de CO₂. Na Figura 11 é possível observar os equipamento utilizados para acompanhamento da concentração dos respectivos gases.

Figura 11 - Instrumentos padrões (NH₃ e CO₂)



Fonte: Aatoria Própria (2024)

4.1.3 Sensores eletroquímicos e calibração

A metodologia de calibração foi adaptada da realizada por (CARVALHO, 2023) tendo em vista as alterações dos sensores, e aplicação final do protótipo.

No Datasheet dos sensores foi possível identificar os parâmetros referentes às condições de funcionamento e sensibilidade. Os sensores MQ-137 e sensor MG-

811, possuem funcionamento similar a toda a linha de sensores MQ e MG, trabalhando em uma faixa de concentração específica para cada um dos gases medidos.

4.2 Programação do protótipo

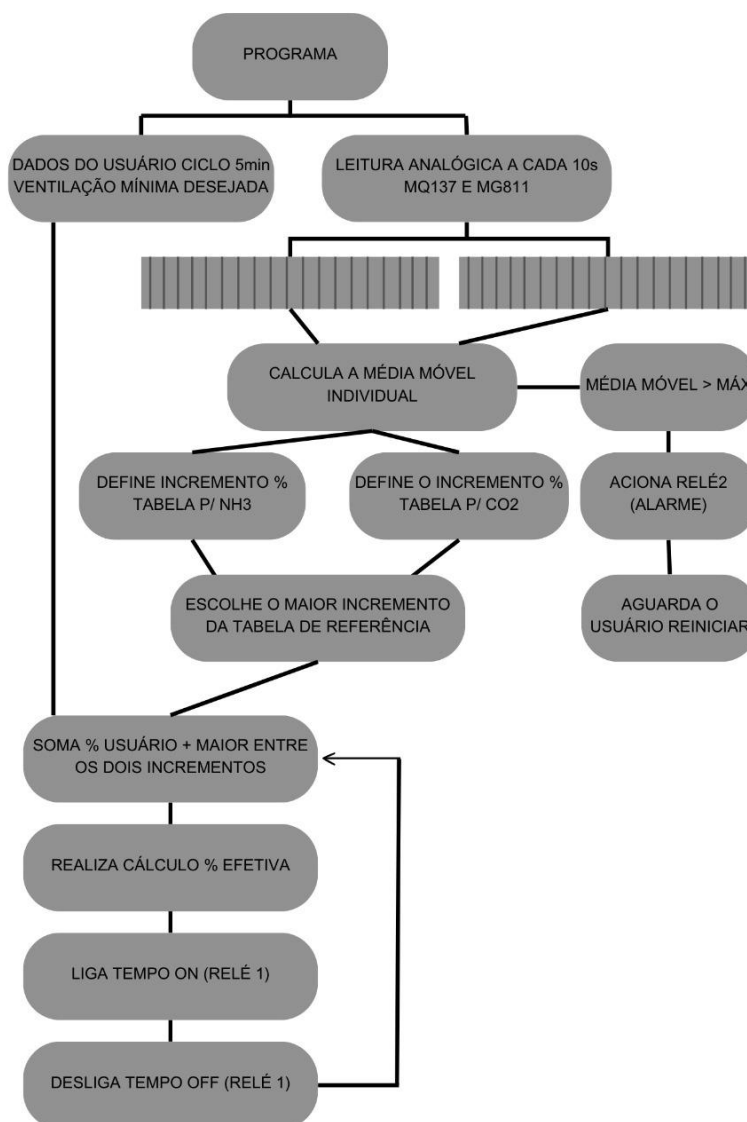
A programação do protótipo foi desenvolvida utilizando a linguagem nativa da IDE Arduino, que oferece uma ampla variedade de bibliotecas para a leitura e processamento de dados.

O Fluxograma 2 apresenta um esquemático da rotina do programa utilizado no protótipo, demonstrando seu funcionamento em cada etapa. Como o princípio de operação era cíclico, o sistema retornava automaticamente ao início do ciclo ao concluir o tempo programado, sem a necessidade de múltiplos retornos ou interrupções. A única interferência no tempo ocorria caso fosse detectada a presença do respectivo gás, ajustando a ventilação conforme necessário.

O programa recebia os dados dos respectivos sensores em um intervalo de 10 segundos. Armazenava as leituras em estruturas capazes de guardar 20 leituras em que foi realizada a média móvel com objetivo de controlar variações abruptas ou erros de leitura. Caso a leitura atingisse níveis superiores ao máximo permitido de acordo com a Tabela 1 o alarme era acionado até o usuário verificar e reiniciar o processo ou melhorar a ventilação devido algum mal funcionamento da ventilação.

A segunda condição se baseava em adicionar um incremento proporcional pra cada gás em que no momento de iniciar o processo era tomado o maior valor em porcentagem dos dois gases, tomando o acréscimo a partir do Quadro 2. Com a porcentagem já definida pelo usuário (ventilação mínima recomendada) e o cálculo iniciava-se o ciclo de ventilação mínima somado ao incremento devido aos gases, tempo ligado e o restante do ciclo desligado, aguardando o próximo ciclo e repetindo o processo.

Fluxograma 2 – Princípio de funcionamento da estrutura do código do dispositivo protótipo.



Fonte: Autoria própria (2024)

5 RESULTADOS

A pesquisa tem caráter exploratório e busca proporcionar maior familiaridade com o problema da concentração de gases na criação avícola. Para isso, foi utilizado um lote de frangos de corte, cujo ciclo produtivo tem duração média de 42 dias. O protótipo foi implantado na granja durante os primeiros 14 dias do período de criação, tempo considerado suficiente para validar e avaliar o conceito de ventilação mínima no estágio inicial. O acompanhamento do protótipo foi realizado conforme o calendário apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Calendário de alojamento e dias de acompanhamento do protótipo

Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
-	-	22/10 Dia 0	23/10 Dia 01	24/10 Dia 02	25/10 Dia 03	26/10 Dia 04
27/10 Dia 05	28/10 Dia 06	29/10 Dia 07	30/10 Dia 08	31/10 Dia 09	01/11 Dia 10	02/11 Dia 11
03/11 Dia 12	04/11 Dia 13	05/11 Dia 14	-	-	-	-

Fonte: Autoria Própria (2024)

Com base nos dados fornecidos pelo inversor de frequência e no controle realizado pelo protótipo, foram registradas as leituras do parâmetro P0043 conforme o cronograma apresentado na Tabela 3. Paralelamente, foram realizadas medições com equipamentos de referência e avaliações pelo responsável do aviário, permitindo ajustes no protótipo para garantir seu funcionamento autônomo e eficaz na ventilação mínima da granja, considerando a nova área de alojamento.

A partir da Tabela 3, do manual de criação das aves e das especificações de vazão dos exaustores, foi possível ajustar o protótipo, aumentando a ventilação cíclica mínima nos dias programados. Durante esse processo, as leituras manuais com equipamentos padrão foram realizadas para assegurar a qualidade do ar, além da inspeção visual de rotina conduzida pelo granjeiro. Caso algum parâmetro estivesse fora da normalidade, ajustes seriam feitos conforme necessário.

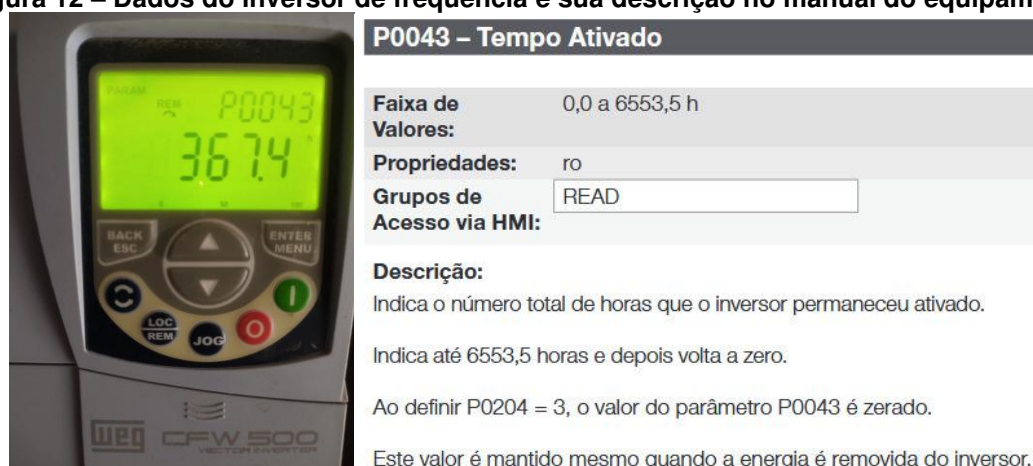
No dia 23 de outubro de 2024, foram alojadas 31.700 aves na granja. O sistema proposto teve como objetivo controlar a ventilação mínima ao longo dos primeiros 14 dias, período crítico em que se busca equilibrar a necessidade de aquecimento, essencial para o desenvolvimento das aves, e a renovação do ar,

fundamental para o bem-estar animal e a manutenção de níveis seguros de gases prejudiciais.

5.1 Dados Coletados

A coleta de dados foi realizada por meio da consulta ao sistema de acionamento, que, conforme o manual do usuário, registra o tempo de funcionamento do dispositivo no parâmetro P0043 do inversor de frequência. Esse parâmetro mantém o tempo total de acionamento registrado, independentemente de desconexões da rede elétrica. As leituras eram anotadas em momentos estratégicos, coincidindo com a ampliação do espaço destinado às aves. Assim, foi possível garantir que, ao atualizar a taxa de ventilação cíclica, o tempo de funcionamento do sistema fosse devidamente monitorado e registrado.

Figura 12 – Dados do inversor de frequência e sua descrição no manual do equipamento



Fonte: Autoria própria (2024)

O protótipo desenvolvido teve a função de manter os dois exaustores operando em um ciclo mínimo, conforme sugerido e calculado com base na fórmula presente no manual de criação. Esse cálculo considerou o volume total da granja em cada fase do cronograma de criação, sendo atualizado nos dias estratégicos em que a taxa de ventilação precisava ser ajustada.

Para determinar o volume de ar removido do galpão a cada ciclo e, conseqüentemente, programar o tempo mínimo necessário no protótipo, foram utilizados os dados de vazão dos exaustores fornecidos pelo fabricante. Essas informações foram obtidas a partir de ensaios realizados em diferentes condições de

pressão estática. Conforme recomendações do manual de criação, considerou-se uma pressão média de trabalho de aproximadamente 25Pa, visto que variações nessa pressão influenciam diretamente o volume de ar removido do ambiente. Esse valor foi adotado por ser uma referência amplamente aceita na prática, especialmente nas condições de idade e fluxo de ar trabalhadas nesta pesquisa.

A Figura 13 apresenta as informações detalhadas de vazão do modelo de exaustor aplicado no projeto.

Figura 13 – Informações de vazão do modelo de exaustor utilizado

Static Pressure (in.H2O)	Airflow (cfm)	rpm	Volts	Amps	Watts	cfm/Watt	Static Pressure (Pa)	Airflow (m ³ /hr.)	(m ³ /hr)/W	W/1000m ³ /hr
0.00	32600	574	379.8	2.65	1452	22.5	0	55500	38.2	26
0.05	30900	569	379.8	2.75	1525	20.3	12	52500	34.4	29
0.10	29100	566	379.8	2.84	1583	18.4	25	49400	31.2	32
0.15	27100	569	379.8	2.93	1651	16.4	37	46000	27.9	36
0.20	24700	560	379.8	3.01	1710	14.5	50	42000	24.6	41
0.25	21900	560	379.8	3.06	1743	12.6	62	37200	21.3	47
0.30	18900	556	379.8	3.10	1767	10.7	75	32200	18.2	55

Fonte: Agricultural [...] (2016)

Com o tempo em horas que o dispositivo permaneceu acionado em sua velocidade máxima (não há variação de velocidade de trabalho do exaustor para esta aplicação) foi possível realizar os cálculos de tempo de acionamento total como mostra a Tabela 4, ou seja o mínimo cíclico tabelado para as condições do galpão e idade das aves e somada a função do protótipo na leitura e aumento da taxa de ventilação.

Tabela 4 - Dados do parâmetro P0043 do inversor de frequência e cálculo de período acionado

Idade	Leitura Parâmetro P0043 Inversor Frequência	Tempo Total Acionado Do Inversor No Período (H)
	367,4	-
1	373,0	5,6
3	401,5	28,4
5	439,1	37,6
7	483,3	44,2
9	542,6	59,3
12	693,7	151,1
14	772,5	78,8

Fonte: Autoria própria (2024)

Outra função do protótipo foi aumentar gradativamente o tempo de ventilação cíclica (a cada 5 minutos) sempre que os níveis de gases ultrapassassem os limites seguros para as aves. Esse incremento foi ajustado de forma proporcional à concentração dos gases: quanto mais próximo do limite superior aceitável, maior o tempo de ventilação acionado. Caso a concentração de CO₂ ou NH₃ excedesse os valores seguros estabelecidos na Tabela 1, o dispositivo ativaria um alarme sonoro para alertar o usuário.

O Quadro 2 apresenta os dados de incremento sugeridos para cada gás, de acordo com sua concentração.

Quadro 2 – Concentração de gás CO₂ e NH₃ e porcentagem de incremento utilizado na ventilação cíclica

Concentração Gás (ppm)		%Aumento
NH ₃	CO ₂	
0	500	0
2,2	775	5
4,4	1050	15
6,6	1325	30
8,8	1600	40
11	1875	50
13,2	2150	60
15,4	2425	70
17,6	2700	80
20	3000	100

Fonte: Aatoria própria (2024)

Com os dados do tempo total que o dispositivo ficou acionado, ao subtrair o tempo cíclico mínimo programado foi possível encontrar qual foi o tempo proveniente do incremento realizado devido a leitura dos sensores. Os resultados dos cálculos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Relação de dias/idade, ventilação cíclica mínima, tempo total acionado e resultado do incremento adicionado na ventilação

Idade	Dias De Leitura	Tempo De Ventilação Mínima (min)	Tempo Cíclico Mínimo Acionado (min)	Tempo Acionado Do Inversor (min)	Incremento De Devido Ação Controle (min)
0	-	-	-	-	-
1	1	1,0	288,0	338,9	50,9
3	2	1,3	1497,6	1704,1	206,5
5	2	1,7	1900,8	2258,3	357,5
7	2	2,1	2380,8	2650,0	269,2
9	2	2,6	2937,6	3560,3	622,7
12	3	3,1	7905,6	9065,3	1159,7
14	2	3,6	4185,6	4728,8	543,2

Fonte: Autoria própria (2024)

Ao analisar os dados da Tabela 5, observa-se um incremento na taxa de ventilação cíclica efetiva da granja, conforme esperado. A faixa de incremento sugerida é detectada pelos sensores de gases, mesmo que estes não possuam alta precisão. Cabe ressaltar que, antes da implementação do protótipo, o ajuste da ventilação dependia exclusivamente da percepção do granjeiro, que, conforme descrito, apresenta limitações sensoriais e não está disponível em tempo integral.

Tabela 6 - Porcentagem de incremento realizado devido a ação de controle nos períodos

Idade	% Aumento Ventilação
0	-
1	17,70%
3	13,79%
5	18,81%
7	11,31%
9	21,20%
12	14,67%
14	12,98%

Fonte: Autoria própria (2024)

Considerando que o isolamento da contribuição de cada sensor não era o foco principal da pesquisa e demandaria um volume excessivo de dados, os sensores demonstraram eficácia na implementação do incremento da ventilação cíclica. Esse acréscimo representa uma melhoria em relação ao método tradicional, no qual a decisão de aumentar a ventilação dependia exclusivamente da percepção do granjeiro. Como esse profissional está frequentemente ocupado com outras

atividades e a criação ocorre de forma contínua, a precisão e a padronização desse processo são desafiadoras.

Entretanto, há dificuldades na confiabilidade das leituras de sensores de baixo custo, especialmente os eletroquímicos, que dependem de reações internas sobre as quais não se tem controle direto. Em um sistema contínuo baseado apenas nessas leituras, o nível de confiança seria extremamente baixo devido ao desgaste natural dos sensores, às condições ambientais severas da granja (como poeira, umidade e exposição a produtos químicos de desinfecção) e à dificuldade de calibração precisa. No presente estudo, a calibração foi realizada apenas com dados padrão fornecidos pelo fabricante para sensores novos. Portanto, desenvolver métodos para calibração periódica ao longo do tempo e entre diferentes lotes de aves é essencial para evitar leituras imprecisas que comprometam o processo.

O protótipo demonstrou eficácia na automação da ventilação mínima cíclica existente. As medições realizadas com equipamentos padrão e a percepção do granjeiro permaneceram dentro dos parâmetros aceitáveis, conforme descrito na Tabela 1. Esse resultado evidencia que a ventilação cíclica, embora baseada em cálculos, não considera variáveis que podem elevar a concentração de gases na granja, como umidade da cama, densidade das aves, falhas no manejo do controlador principal e outros fatores.

A análise da Tabela 6 confirma o incremento na ventilação mínima, demonstrando que o uso do protótipo contribui para aumentar a segurança e a eficiência da ventilação em granjas de criação de frango de corte. A estratégia adotada não altera drasticamente o sistema já existente, mas permite otimizar a ventilação mínima com base na concentração de gases, tornando possível a automação do processo.

No entanto, algumas limitações foram identificadas. Em dias muito frios, o aumento automático da ventilação pode ser prejudicado, pois nem todas as granjas possuem sistemas de aquecimento eficientes para compensar essa alteração. Conforme relatos do granjeiro, em determinadas situações, a ventilação necessária para controle dos gases pode ser elevada, mas inviável devido às baixas temperaturas. Nesses casos, a ventilação precisa ser reduzida, mesmo que a concentração de gases aumente, para evitar perdas associadas ao frio excessivo. Dessa forma, a tomada de decisão sobre a ventilação deve considerar também

dados de temperatura e umidade, estabelecendo condições críticas para ajustes automáticos.

Outro fator relevante é o posicionamento do sensor, que impacta diretamente na precisão das medições. Ele deve estar localizado na região de maior concentração de gases para garantir leituras mais representativas. Durante a expansão da área de alojamento, o granjeiro relatou um aumento perceptível na concentração de gases no intervalo entre a atualização do tempo de ventilação e o reposicionamento do protótipo, evidenciando a importância de um ajuste criterioso na instalação do equipamento.

6 CONCLUSÃO

A pesquisa comprovou a viabilidade da implementação de um sistema automatizado para o controle da ventilação mínima em granjas avícolas, promovendo melhorias no manejo ambiental e no bem-estar das aves. O protótipo desenvolvido demonstrou eficiência no ajuste do tempo de ventilação com base na concentração de gases, destacando-se por sua acessibilidade em comparação aos equipamentos padrão, que, embora realizem medições, não interferem diretamente na ventilação. Com um custo reduzido, programação simplificada e componentes de fácil acesso, o dispositivo mostrou-se uma alternativa prática e funcional, contribuindo para a melhoria da qualidade do ambiente sem comprometer a temperatura ideal para o desenvolvimento dos frangos.

Os dados coletados indicaram que o sistema foi capaz de identificar variações nos níveis de CO₂ e NH₃, ajustando automaticamente a ventilação para manter a qualidade do ar dentro dos padrões recomendados. Além disso, a automação reduziu a dependência exclusiva da percepção do granjeiro, minimizando erros e garantindo um controle mais preciso e contínuo.

Fatores como a posição dos sensores mostraram-se críticos para a eficiência do sistema, evidenciando a necessidade de ajustes na instalação e no monitoramento. Apesar dessas variáveis, os resultados comprovam que a tecnologia aplicada pode melhorar significativamente o controle ambiental na avicultura, reduzindo custos operacionais e melhorando a gestão do alojamento das aves.

Dessa forma, este estudo reforça a importância do uso da automação no setor avícola, abrindo caminhos para aprimoramentos futuros, como a integração de sensores mais precisos e algoritmos avançados para melhorar ainda mais a ventilação e a qualidade do ar na granja.

Durante a realização do projeto, foram identificadas algumas oportunidades de aprimoramento que podem contribuir para melhores resultados. Entre elas, destacam-se:

- Utilização de sensores industriais certificados, com calibração adequada e faixa de medição específica para a avicultura;

- Armazenamento das leituras dos sensores em um banco de dados, permitindo análises mais detalhadas sobre a variação das concentrações de gases em relação ao horário, densidade das aves e outros fatores relevantes;
- Implementação de sistemas de redundância para garantir maior precisão nas leituras, possibilitando o controle da ventilação de forma variável e não apenas em ciclos fixos;
- Integração entre a ventilação variável e o controle de temperatura, visto que a separação desses dois fatores limitou o período de testes do dispositivo;
- Desenvolvimento de métodos de calibração dos sensores em campo, assegurando maior precisão nas medições e confiabilidade na tomada de decisões.

REFERÊNCIAS

AGRICULTURAL Ventilation Fans, Performance and Efficiencies: BESS Lab. [S. l.], 15 dez. 2016. Project Number: 16947. Disponível em: <http://bess.illinois.edu/index2.htm>. Acesso em: 9 set. 2023.

ALMUHANNA, E. A.; AHMED, A. S.; YOUSIF-AL, Y. M. Effect of air contaminants on poultry immunological and production performance. **International Journal of Poultry Science**, Faisalabad, p. 461-470, 2011.

AVIAGEN. ROSS, 2018. Disponível em: https://pt.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Portuguese/Ross-BroilerHandbook2018-PT.pdf. Acesso em: 28 out. 2023.

CARON, L. Recomendações de biosseguridade para a produção de galinhas e frangos de corte em sistemas de subsistência. **Embrapa Suínos e Aves**, Concórdia-SC, p. 19, 2023.

COBB VANTRESS. Manual de Manejo de Frango de Corte, 2018. Disponível em: <https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/df5655a7e9/Broiler-Guide-2019-POR-WEB.pdf>. Acesso em: 28 out. 2023.

HUBBARD BREEDERS, 2022. Disponível em: <https://www.hubbardbreeders.com/media/broiler-guide-efficiency-plus-pt-20220926-ld.pdf>. Acesso em: 30 out. 2023.

MARTIN, E.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. **Arduino em Ação**. 1ª. ed. São Paulo: Novatec, v. 1, 2013.

MC ROBERTS, M. **Arduino Básico**. 2ª. ed. São Paulo: Novatec, 2015.

NAGY, A. S. et al. Medición simultánea de gases con sensores MQ. **Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones**, Habana, 09 mar. 2020.

SENSORIAMENTO em Tempo Real Utilizando Sensores MQ. **Juá Labs**, 2016. Disponível em: <https://jualabs.com/2016/11/30/sensoriamento-de-gases-em-tempo-real-atraves-de-sensores-mq-0-9/>. Acesso em: 25 out. 2023.

SILVA, C. T. D. Sistema inteligente para controle da climatização de aviários para produção de frangos de corte. **Universidade Federal de Lavras**, 2020.

SINDIVIAPAR. **Site da Sindiviapar**, 2020. Disponível em: <https://sindiavipar.com.br/avicultura-paranaense-cresce-acima-de-4-em-producao-e-exportacao-no-ano-de-2020/>. Acesso em: 30 out. 2023.

STEFAN, I. A.; FERREIRA, P. I. L.; SOUSA, A. S. D. Protótipo de medidor de gases poluentes usando tecnologia de baixo custo. **Revista Principia**, João Pessoa, n. 49, p. 31-42, mar. 2020.

TINÔCO, I. Avicultura Industrial : Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, 2001.

ULLMAN, J. L. et al. A Review of Literature Concerning Odors, Ammonia, and Dust from Broiler Production Facilities: 4. Remedial Management Practices. **Journal of Applied Poultry Research**, Champaign, v. 13, p. 521-531, out. 2004.

ZANATTA, R. A. Análise do controle de amônia em aviários, Cricúma, jul. 2007. Acesso em: 29 out. 2023.

ZEN, S. D. **EVOLUÇÃO DA AVICULTURA NO BRASIL**. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Piracicaba-SP, p. 4. 2014.

INVERSOR de Frequência CFW300 V3.8X Manual de Programação: Documento: 10006739493 / 08. [S. l.: s. n.], 09 2023.

UNIVERSITY of Illinois Department of Agricultural and Biological Engineering: Bioenvironmental and Structural Systems Lab. [S. l.: s. n.], n. Project Number: 16947, 15 dez. 2016.

ARDUINO Mega 2560. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: 9 set. 2024.

DATASHEET Ammonia Gas Sensor: Model : MQ137. [S. l.]: Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd, v. Version: 1.6, 1 jul. 2021.

DATASHEET MG811 CO2 Sensor. [S. l.]: Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd, v. Version: 1.3, 3 jun. 2017.