UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA (COELE)
ENGENHARIA ELETRÔNICA

PAULO FELIPE QUINQUIOLO

SISTEMA DE CONTROLE DE VAZÃO DE GÁS APLICADO A CAMPÂNULAS DE AVIÁRIOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Toledo – PR
2017

PAULO FELIPE QUINQUIOLO

SISTEMA DE CONTROLE DE VAZÃO DE GÁS APLICADO A CAMPÂNULAS DE AVIÁRIOS

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Evandro Marcos Kolling.
Coorientador (a): Jaqueline Vargas.

Toledo – PR
2017

Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica

TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso Nº 59

SISTEMA DE CONTROLE DE VAZÃO DE GÁS APLICADO A CAMPÂNULAS DE AVIÁRIOS

por

Paulo Felipe Quinquiolo

Esse Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 14h e 40min do dia **16 de novembro de 2017** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Eletrônica**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Dr. Gerson Filippini
(UTFPR-TD)

Prof. Dr. Jefferson G. Martins
(UTFPR-TD)

Prof. Dr. Evandro M. Kolling
(UTFPR-TD)
Orientador(a)

Prof. Me. Jaqueline Vargas
Coordenador(a) da COELE

O termo de aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso

RESUMO

QUINQUIOLO, P. F., Sistema de Controle de Vazão de Gás Aplicado a Campânulas de Aviários, Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Eletrônica, **Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR**, *campus* Toledo, **2017.**

Neste trabalho foi desenvolvido um algoritmo para calcular a vazão do gás condicionado a campânulas utilizadas em sistemas de aquecimento de aviários. Para o caso, empregou-se ao algoritmo uma Rede Neural Artificial de multicamadas, sob o método de treinamento *Backpropagation*. De modo a representar o comportamento real desses sistemas, o algoritmo de treinamento da rede neural foi baseado em dados coletados em planta experimental, construída em laboratório, a contar com uma campânula modelo comercial TOP2000. Para possibilitar a interação do usuário com o algoritmo, também foi construído uma interface gráfica que permite ao operador inserir dados pertinentes ao sistema de controle. Ao final, foi possível observar que o sistema desenvolvido pode aperfeiçoar o processo produtivo, de modo a implicar em significativas melhorias ao processo.

Palavras Chave: Avicultura, controle, ambiência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Volume de exportação de carne de frango. 16
Figura 2. Radiação do calor proveniente das campânulas. 20
Figura 3. Distribuição de campânulas em um aviário. 20
Figura 4. Distribuição dos frangos sob as campânulas. 21
Figura 5. Preço médio do GLP no estado do Paraná. 22
Figura 6. Esquemático do Neurônio Artificial. 23
Figura 7. Rede Neural de Múltiplas Camadas. 24
Figura 8. Campânula a gás TOP 2000. 27
Figura 9. Registro regulador de vazão de gás. 28
Figura 10. Gabarito de pontos para coleta de dados da temperatura. 28
Figura 11. Termômetro infravermelho MT-360 da marca Minipa. 29
Figura 12. Balança Welmy BWC 6/15/30. 30
Figura 13. Planta para coleta de dados do sistema de calefação do aviário. 30
Figura 14. Detalha (A). Sistema de alimentação e medição de gás da planta. 31
Figura 15. Detalhe (B). Gabarito de coleta de dados inserido a planta. 31
Figura 16. Sensor de temperatura DS18B20. 32
Figura 17. Esquemático de ligação do sensor DS18B20. 33
Figura 18. Sistema auxiliar utilizado para coleta de dados. 34
Figura 19. Sistema auxiliar utilizado para coletar dados de vazão 35
Figura 20. Ferramenta nntool, utilizada para o treinamento da rede. 36
Figura 21. Interface de desenvolvimento *Qt Creator.* 37
Figura 22. Variação de temperatura utilizando os sensores. 39
Figura 23. Comportamento da vazão de gás. 40
Figura 24. Comportamento térmico da campânula levantado em laboratório. 42
Figura 25. Comportamento de Temperatura x Vazão da campânula estudada. 43
Figura 26. Rede Neural Artificial obtida após o treinamento. 45
Figura 27. Janela inicial da interface gráfica. 49
Figura 28. Funcionalidades do programada desenvolvidas. 50
Figura 29. Interface gráfica completa. 52
Figura 30. Sentido de propagação do sinal de entrada pela RNA multicamadas. 53
Figura 31. Diagrama de blocos para construção do algoritmo. 54

Figura 32. Comparativo do comportamento dos dados coletados e calculados.....57
Figura 33. Pontos desconsiderados pela RNA.....58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Temperatura ambiente adequada no interior do aviário. 19
Tabela 2. Dados de temperatura [°C] coletados com os sensores DS18B20 e Termômetro MT-360. 38
Tabela 3. Amostras organizadas para o treinamento da RNA. 44
Tabela 4. Erro obtido após o treinamento para diferentes arquiteturas de RNA's. 46
Tabela 5. Pesos sinápticos e $bias$ da camada oculta calculada. 47
Tabela 6. Pesos sinápticos e $bias$, da camada de saída, calculados. 47
Tabela 7. Intervalos dos valores de entrada e saída. 55
Tabela 8. Valores calculados pela RNA presente na interface gráfica. 56

LISTA DE SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
RNA	Rede Neural Artificial
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
g/min	gramas por minuto

LISTA DE ACRÔNOMIOS

nntool	*Neural Network/Data Manager*
interpn	*Interpolation Function*
mesh	*Draws a wireframe Mesh with color*
MATLAB	M*atrix Laboratory*
QT CREATOR	Interface de desenvolvimento *Qt Creator*
ID	Numero de Identificação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11
2. OBJETIVOS 13
2.1. OBJETIVO GERAL 13
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 13
3. JUSTIFICATIVA 14
4. REFERENCIAL TEÓRICO 16
4.1. AVICULTURA 16
4.1.1. Ambiência dos frangos em aviários 18
4.1.2. Sistema de aquecimento interno em aviários 19
4.1.3. Representação do sistema de calefação no custo de produção de aves 21
4.2. REDE NEURAL ARTIFICIAL 23
5. METODOLOGIA 26
5.1. MATERIAIS 26
5.2. METODOS 26
5.2.1. Coleta de dados 27
5.2.2. Sistemas auxiliares para validação da coleta de dados 32
5.2.2.1. Sistema de verificação de confiabilidade do termometro 32
5.2.2.2. Sistema auxiliar de analise dos dados de vazão de gás 34
5.2.3. Construção de treinamento da Rede Neural Artificial 35
5.2.4. Elaboração da interface gráfica 36
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO 38
6.1. ANÁLISE DE VALIDAÇÃO DOS DADOS DE TEMPERATURA 38
6.2. VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIDA DA VAZÃO DE GÁS 40
6.3. TEMPERATURA VERSUS VAZÃO 41
6.4. TREINAMENTO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL 44

6.5. INTERFACE GRÁFICA 48
6.6. IMPLANTAÇÃO DA RNA NA INTERFACE GRÁFICA 52
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 59
7.1. CONCLUSÃO 59
7.2. TRABALHOS FUTUROS 59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61

1. INTRODUÇÃO

A avicultura é uma das atividades pecuárias de grande importância no cenário econômico nacional, totalizando 1,5% do PIB e gerando cinco milhões de empregos diretos e indiretos (ABPA, 2014).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA (2016), o Paraná é o maior exportador de carne de frango do Brasil, representando 31,02% do montante exportado. Analisando o fato de 68,4% das propriedades paranaenses possuírem entre um e 25 hectares de terra (caracterizadas como pequenas propriedades) e também que 96,6 % dos produtores rurais residem e trabalham na própria propriedade, pode-se concluir que grande parte da produção de frango paranaense se concentra em pequenas propriedades que utilizam mão de obra familiar (GARCIA, 2014).

Ainda de acordo com Garcia (2014), diferente de outros estados como Mato Grosso, onde grande parte das propriedades possui entre 201 a 400 hectares, o Paraná possui em sua maioria pequenas propriedades, onde o cultivo intensivo, como de frangos de corte, é amplamente empregado de modo a viabilizar o espaço físico e econômico das propriedades. Portanto, pequenas interferências positivas na eficiência energética podem afetar significativamente a economia da propriedade.

Cabe ressaltar que a atividade de produção intensiva de aves em nosso estado, principalmente na região sul, é influenciada pelas características climáticas da região de locação das unidades. Historicamente, o Paraná possui uma elevada amplitude térmica, o que pode ser prejudicial para a produção de frangos por possuir temperaturas muito superiores ou inferiores à faixa de conforto térmico das aves, de acordo com as diferentes estações do ano.

Deste modo, fica evidente a importância de sistemas de refrigeração, em situações de elevadas temperaturas, e fontes externas de aquecimento quando a temperatura ambiente for inferior à adequada para o conforto animal. Tais sistemas são essenciais para garantir o conforto térmico e, consequentemente, o desenvolvimento das aves (ABREU, 2004).

Em se tratando de aquecimento ou calefação, os atuais sistemas utilizam diversas campânulas a gás distribuídas no interior do aviário. Cada uma possui um sistema de controle de temperatura manual e individual. Cabe ainda ressaltar que o

sistema de calefação se apresenta como um dos maiores custos da produção avícola (CONAB, 2012). Sendo assim, surge a necessidade de constantes estudos para melhorias em todos os seguimentos da tecnologia, a fim de aperfeiçoar a eficiência energética no setor e o emprego dos recursos na produção.

Embora os atuais aviários sejam embarcados de grande tecnologia de automação os sistemas de calefação, em especial campânulas a gás, são pouco automatizados e, assim, muito dependentes da atividade humana.

A automação aplicada ao controle e gerenciamento de equipamentos, como no caso da vazão de gás em campanulas de aquecimento de aviários, pode contribuir diretamente na redução de custos de produção, como a minimização de exposição dos operadores a ambientes nocivos, além, de oferecer comodidade funcional.

A proposta do trabalho é apresentar ferramenta possível de embarcar em um sistema de automação, capaz de calcular a vazão de gás necessária para que as campânulas possam manter a temperatura ideal para cada fase de criação dos frangos, assim como manter o sistema atualizado constantemente, com o decorrer do tempo. O sistema elaborado é um preditivo do sistema de atuadores nas campânulas, sendo responsável por gerar a referência para os sistemas de controle destes equipamentos.

2. OBJETIVOS

Neste capítulo será apresentado o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver um algoritmo de controle que calcule o fluxo de gás necessário para o aquecimento em uma campânula de aviário, de acordo com a idade dos animais presentes no aviário.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Montar de bancada experimental que simule o sistema de calefação dos aviários;
- Obter dados de temperatura do sistema de calefação em diversos pontos com diferentes vazões de gás;
- Treinar a rede neural a partir das amostras de vazão de gás e temperatura coletados, utilizando *MatLab*;
- Desenvolver um algoritmo capaz de calcular a vazão de gás necessária a partir da temperatura ideal para a idade dos frangos presentes no aviário, de acordo com a Rede Neural Artificial treinada; e
- Desenvolver uma interface gráfica, a qual permita inserção de dados técnicos de necessidades para a situação de produção.

3. JUSTIFICATIVA

Considerando o alto custo relacionado ao sistema de calefação nas diferentes fases produtivas das aves, a importância das campanulas na ambiência dos animais e, consequentemente, na qualidade e produtividade do setor, é necessário que o referido sistema de aquecimento esteja em constante aprimoramento.

Os sistemas de aquecimento de grande parte dos aviários atuais são manuais. Estes são compostos de dispositivos mecânicos como campânulas e fornos a lenha, sendo indispensável a constante atuação direta do operador para seu funcionamento e monitoramento. Esse procedimento manual pode muitas vezes afetar a qualidade do produto devido ao manuseio inapropriado dos equipamentos por parte dos operadores, além de expor os operadores aos ambientes de grande risco à saúde e à vida. Logo, o desenvolvimento destas tecnologias implica de forma positiva na produção de frangos de corte e também reduz riscos aos operadores, assim como pode melhorar o processo produtivo e os lucros obtidos.

Além de significar possíveis riscos à qualidade do produto final, a necessidade da presença de operadores na linha de produção, qualificados e capacitados para tomarem importantes decisões, acarreta significantes custos de mão de obra, consequentemente reduzindo o lucro da propriedade. Deste modo, o desenvolvimento de um sistema de controle que automatize a vazão de gás necessária para que as campânulas possam manter a temperatura adequada, de acordo com a idade dos frangos, representa um avanço frente às necessidades que demandem interferência humana, assim como pode implicar na redução direta de mão-de-obra e dos custos associados ao trato.

Neste contexto, o algoritmo desenvolvido no referido projeto poderá compor os sistemas de automação dos aviários com o mínimo de impacto sobre a instalação da rede. Sem a necessidade de interromper a produção para a instalação do sistema, não haverá riscos aos rigorosos padrões de qualidade exigidos na atividade. Outro importante aspecto é a introdução na automatização dos aviários uma ferramenta de controle confiável e capaz de atender aos requisitos das boas práticas de manejo de frango de corte.

Essa tecnologia foi implementada a partir do emprego de Redes Neurais Artificiais (RNA), treinadas pelo algoritmo de treinamento *Backpropagation*

(KOVÁCS, 2002). Para tal, foi necessária uma base de dados que representasse a realidade do comportamento funcional do sistema. Após o treinamento da RNA, o algoritmo foi capaz de identificar qual a melhor vazão para diferentes casos de temperatura (não treinados previamente) modelando o comportamento real do equipamento.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados conceitos, dados e informações técnicas e cientificas que nortearam a formulação do problema, o desenvolvimento do trabalho e o alcance dos objetivos apresentados. Também são apresentados os impactos sócios econômicos do segmento de produção alvo deste projeto.

4.1. AVICULTURA

Há vários anos que a avicultura brasileira, especialmente na produção de frango de corte, vem se destacando entre os maiores produtores de aves no mundo. Em terceiro lugar, com aproximadamente 12,69 milhões toneladas produzidas em 2014, o Brasil está atrás apenas dos Estados Unidos e da China, e permanece em constante ampliação (ABPA, 2015). Essa elevada produção faz com o que o Brasil seja o maior exportador de carne no mundo, totalizando 40% do mercado mundial (Figura 1). Atualmente a carne de frango brasileira chega a 142 países, sendo o Oriente Médio o principal destino das exportações (MAPA, 2013).

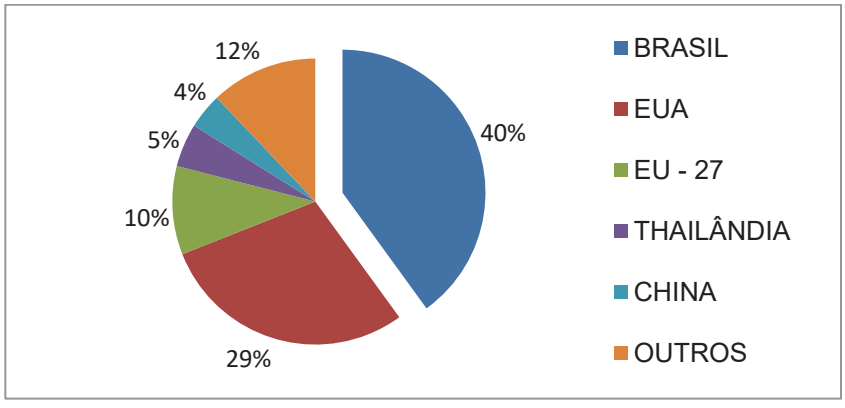

Figura 1. Volume de exportação de carne de frango.
Fonte: Adaptado MAPA, 2013.

.

A avicultura brasileira tem passado por grandes avanços desde a década de 1960. Com estudos reconhecidos nas áreas de genética, equipamentos e tecnologia, assim como nos tratos operacionais e de manejo das aves. Estes avanços são consequência dos incentivos, tanto governamentais quanto da iniciativa privada, através de crédito para investimentos em longo prazo (CIAS, 2010). Fator

este, vital ao desenvolvimento do setor, tendo em vista os grandes investimentos necessários à implantação da atividade.

Conforme FAEP (2014), a avicultura é uma cultura de produção que exige um elevado investimento inicial, sendo relativamente alto quando se trata da implantação em pequenas propriedades que utilizam de mão de obra familiar. O custo médio de implantação de um aviário moderno é aproximadamente R$ 600.000,00. Para a produção de frangos de corte, os pintainhos (depois eclodir do ovo) são mantidos em luz para aquecimento durante um dia, sendo posteriormente direcionados aos aviários, onde irão permanecer até o abate.

Aviários modernos, chamados galpões de engorda, são destinados aos frangos com mais de um dia de vida. Esse modelo utiliza o sistema de alojamento em galpão inteiro onde os animais podem ocupar todo seu interior. O aviário é construído em estrutura metálica e fechado com cortinas de lona (cortina externa), as quais auxiliam no isolamento dos frangos com o exterior do aviário, juntamente com o forro e uma segunda cortina interna. O telhado dever ser composto de material refletivo e conter algum tipo de isolante para reduzir os impactos do sol. Ainda segundo autor, o piso dos aviários é constituído de concreto e deve possuir uma cobertura superficial, chamada cama do aviário, para proporcionar melhor ambiência às aves. Isso auxilia no controle de temperatura e humidade, assim como diminui o contato dos frangos com o excremento diluindo a excreta (COBB, 2008).

Os aviários tradicionais possuem uma área útil de 2.250 m², com 150 metros de comprimento e 15 metros de largura, com capacidade de aproximadamente 30.083 aves por lote, sendo que cada animal chega ao peso final de 2,5 kg em média. Cada aviário recebe cerca de cinco lotes de aves por ano, constituindo 10 semanas por lote, de tal forma que sete semanas são destinadas a engorda do frango e três ao chamado descanso do aviário. No período de descanso o aviário é preparado, com a substituição da cama do galpão e limpeza dos equipamentos para receber o próximo lote (FAEP, 2014).

Quanto ao sistema de aquecimento, este é projetado de acordo com a localização regional do galpão, podendo utilizar energia elétrica por meio refletores, lenha em fornos ou gás em campânulas, desde que sejam atendidas as exigências de ambiência dos frangos. O sistema de aquecimento deve operar juntamente com o sistema de ventilação e as cortinas do aviário, ambos automatizados. Deste modo, quando algum dos sistemas falharem ou operarem de forma inadequada, outro

sistema deve ser capaz de atuar a fim de minimizar os impactos sobre as aves, reduzindo a mortalidade dos animais (COBB, 2008).

Atualmente, o sistema de aquecimento por meio de campânulas está se atualizando, devido ao impacto que a queima do GLP proporciona ao meio ambiente, assim, vem sendo empregado como combustível primário o biogás gerado nas próprias propriedades, contribuindo para a sustentabilidade e economia do empreendimento (QUINQUIOLO, *et al,* 2015).

4.1.1. Ambiência dos frangos em aviários

Por se tratar de animais homeotérmicos, o mecanismo de controle térmico corporal das aves é eficiente apenas em condições adequadas de temperatura no interior do aviário, chamada zona de conforto térmico das aves. De acordo com Abreu (2004), o ambiente é considerado adequando quando a ave consegue transferir o calor corporal para o meio sem qualquer estresse.

Visando a qualidade do produto final e o bem-estar das aves, é indispensável para a implantação de sistemas de criação, aviários ou galpões de alojamento, que o projetista se atente a características fisiológicas das aves, condições climáticas da região alvo da implantação, conceitos de ambiência animal, entre outros aspectos (ABREU, 2011).

Ainda segundo Abreu (2011), o sistema termorregulador dos frangos se desenvolve por completo após os 21 dias de idade, assim os animais são capazes de manter a temperatura corporal com maior facilidade. Deste modo, baixas temperaturas causam mais impacto em aves com menos de 21 dias. Por outro lado, aves com idade superior são afetadas por temperaturas elevadas. Estes aspectos tornam o parâmetro temperatura um fator preponderante no processo, considerando que pode potencializar o desenvolvimento das aves, ou retarda-lo a ponto de gerar prejuízo para o produtor (MATUCHAKI, 2011).

Para minimizar estes efeitos negativos da temperatura e potencializar a funcionalidade do sistema termorregulador das aves, é necessário que a temperatura ambiente dos aviários esteja em níveis apropriados de acordo com a idade do frango, chamada temperatura de conforto. Frente a isso, alguns estudos

apresentam parâmetros de temperatura a serem respeitados dentro das unidades produtivas, de acordo com a idade das aves.

Conforme Tabela 1, a maior necessidade de aquecimento para as aves se dá nas três primeiras semanas de vida do animal, tempo necessário para o desenvolvimento do sistema termorregulador dos frangos.

Tabela 1. Temperatura ambiente adequada no interior do aviário.

Idade (Semanas)	Temperatura Ambiente (°C)
1	32-35
2	29-32
3	26-29
4	23-26
5	20-23
6	20
7	20

Fonte: www.cnpsa.embrapa.br.

Uma característica importante para a criação de frangos de corte são as condições climáticas onde o galpão será construído. No Paraná, maior produtor de frango de corte do Brasil, há regiões onde a temperatura pode variar entre valores abaixo de zero e acima de 30 °C (SIMEPAR, 2017), sendo prejudiciais ao desenvolvimento das aves quando o sistema de controle não é capaz de manter as temperaturas referenciadas.

4.1.2. Sistema de aquecimento interno em aviários

Nos galpões de alojamento das aves, as condições climáticas do ambiente são controladas por meio de diversos sistemas, entre eles exaustores e aquecedores. Um dos primeiros métodos de aquecimento utilizado foi o forno à lenha, que fica localizado no centro do aviário e efetua a queima do combustível. Com o passar do tempo diversos métodos foram sendo desenvolvidos. O mais utilizado em aviários modernos é a campânula a gás, a qual pode ser acionada tanto a gás natural ou Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) (ABREU, 2003).

Segundo Catelan (2007), campânulas a gás são sistemas de aquecimento do tipo infravermelho com aquecimento radiante, ou seja, a chama proveniente da campânula aquece primeiramente o ar em seguida as aves (Figura 2). Com isso, a propagação do calor ocorre de maneira uniforme, decaindo proporcionalmente com a distância da chama.

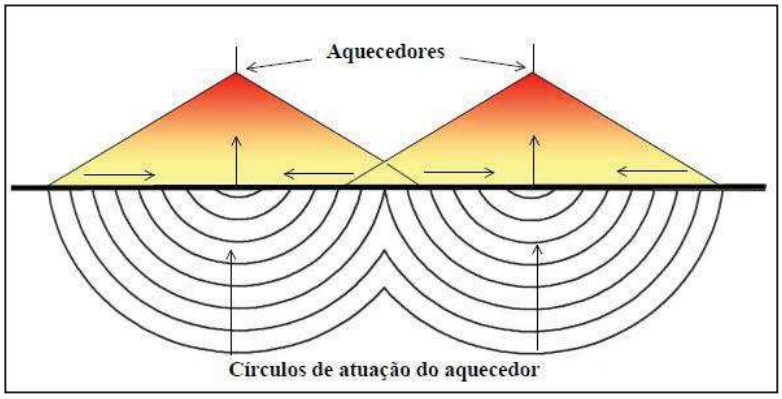

Figura 2. Radiação do calor proveniente das campânulas.
Fonte: ABREU, 2003.

Este sistema de aquecimento possui uma abrangência relativamente grande. Para a instalação das campânulas (Figura 3) há variações entre 3,6 a 4 metros de diâmetro e 0,9 a 1,25 metros de altura, mas ainda pode variar de acordo com o fabricante, possuindo uma capacidade que varia de 1.000 a 4.000 pintainhos por aquecedor. Para cobrir toda a área do aviário, as campânulas são distribuídas justa postas de forma que sua área de abrangência seja agregada a da campânula subjacente. Isso faz com que as extremidades da zona de aquecimento (regiões mais frias), sejam sobrepostas e que a temperatura interna se mantenha a mais uniforme possível. Na Figura 3, no qual cada círculo representa uma campânula e a área mais quente é representado pelo círculo de tonalidade mais escura (ABREU *apud*, 2003).

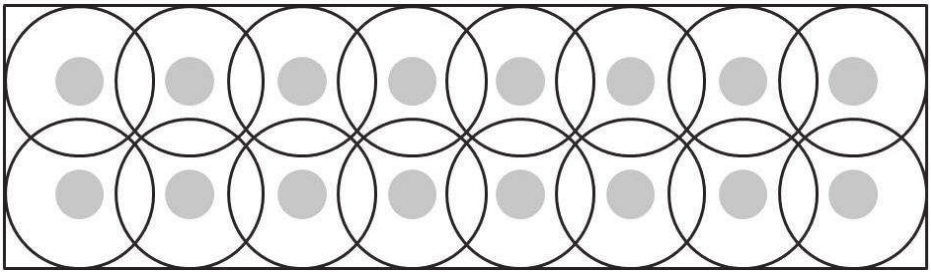

Figura 3. Distribuição de campânulas em um aviário.
Fonte: Adaptado de ABREU, 2004.

Sistemas de aquecimento devidamente ajustados e calibrados são fundamentais para o correto crescimento das aves. Dentro de um ambiente fechado e isolado como os aviários, é necessário que a temperatura interna seja ideal para estimular o apetite e diminuir a mortalidade dos frangos. Sendo assim, é necessário monitorar o comportamento e o ruído dos frangos para identificar se está adequada a temperatura sob as campânulas (ROSS, 2004). A Figura 4 mostra a tendência comportamental dos frangos em relação à temperatura na área de abrangência das campânulas.

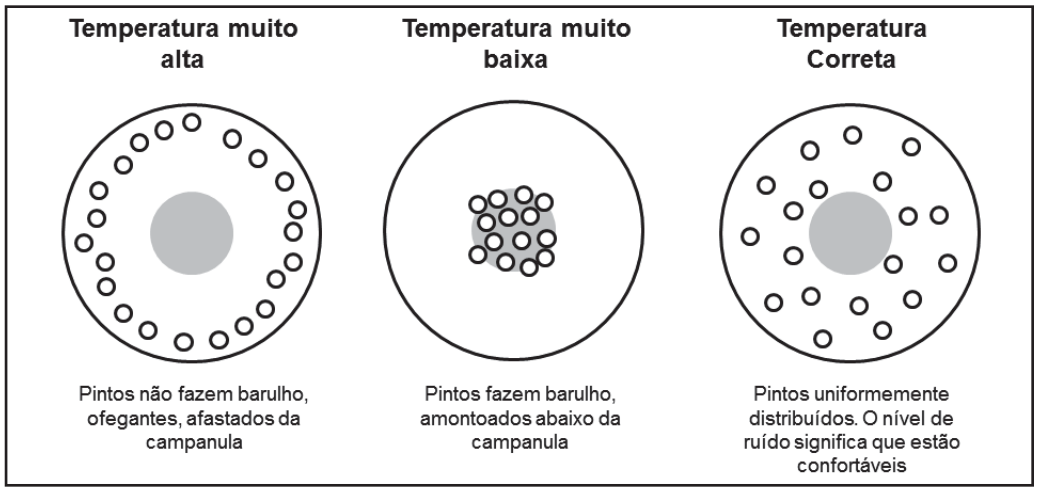

Figura 4. Distribuição dos frangos sob as campânulas.
Fonte: Autoria Própria.

Os círculos externos na Figura 4 representam a abrangência da área de aquecimento das campânulas, já os círculos internos preenchidos representam a região mais quente sob a campânula. Os frangos são representados pelos círculos menores internos, com isso é possível notar que os frangos estão constantemente em busca da temperatura ideal, conforme Tabela 1.

4.1.3. Representação do sistema de calefação no custo de produção de aves

Além do elevado custo de implantação dos aviários, a engorda dos frangos demanda custos altivos em sua operação. O custo médio de produção oscila em torno de 0,15 R$/kg produzido, sendo que aproximadamente 8,46% deste custo são

destinados para o sistema de calefação do aviário, correspondendo aproximadamente 0,0131 R$/kg e totaliza R$ 1.050,00 por lote. Esse custo é menor apenas que os custos de mão de obra que oscilam por volta de R$ 2.200,00, energia elétrica e o preparo da cama da granja, que somados totalizam R$ 2.635,00 (CONAB, 2012).

Considerando a grande densidade de aves presentes nos aviários, considera-se que pequenas alterações que visão eficiência energética possam representar significantes resultados no valor final do lote.

Além de representar um elevado custo para a produção atualmente, o GLP utilizado em campânulas esta se tornando cada vez mais caro (Figura 5), de acordo com a Agência Natural de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2016), logo, tratando-se de um insumo na produção de frango de corte, torna a carne de aves mais cara ao consumidor final.

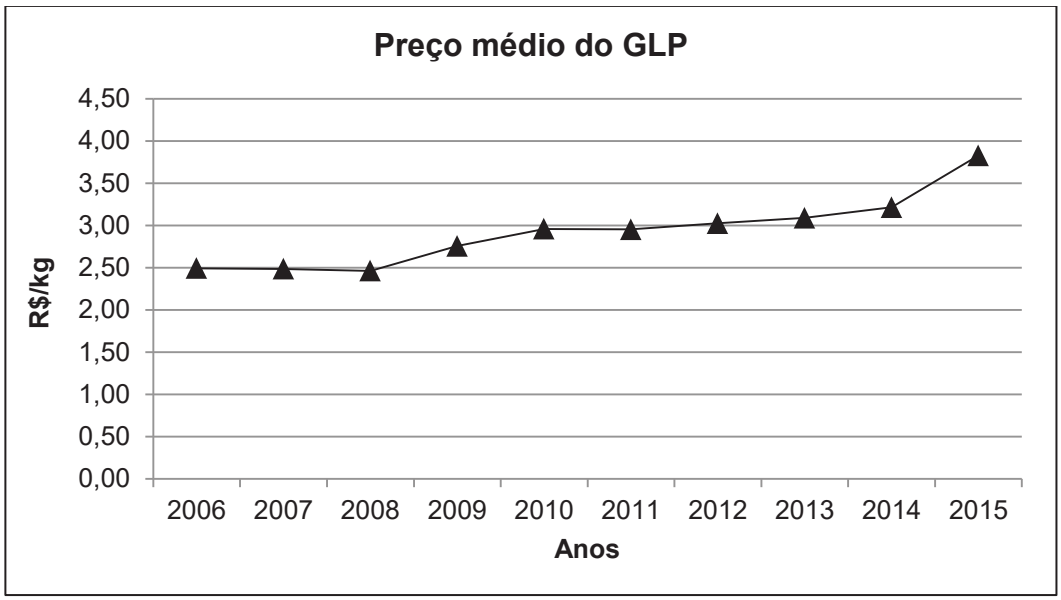

Figura 5. Preço médio do GLP no estado do Paraná.
Fonte: Adaptado de ANP, 2016.

Esta tendência no aumento do preço do GLP (Figura 5), associado ao fato de se tratar de uma matéria finita no meio ambiente, evidência a necessidade de racionalizar seu uso e torna-lo mais eficiente. Desta forma, o desenvolvimento e estudos de sistemas de controle que aperfeiçoem a utilização deste recurso são necessários, sendo que neste trabalho o controle será realizado por meio de uma Rede Neural Artificial (RNA).

4.2. REDE NEURAL ARTIFICIAL

Para viabilizar o desenvolvimento do projeto, se faz necessário a compreensão do método que será utilizado para o processamento dos dados coletados na planta, sendo esse a Rede Neural Artificial (RNA). Esse método visa solucionar problemas de reconhecimentos de padrões em tarefas particulares, assim como a forma que o sistema neural biológico interage com o meio em que está inserido. Essa capacidade é adquirida por meio do treinamento da rede embasado na modelagem do comportamento real do sistema a ser controlado, através de um banco de dados coletados previamente (ZAMBIASI, 2002).

Uma RNA é constituída a partir de uma unidade computacional denominada neurônio, onde o valor de saída (podendo conter uma saída ou mais) deste elemento é o resultado das diversas entradas ponderas com seus respectivos pesos (pesos sinápticos) (KOVÁCS, 2002). O neurônio artificial está apresentado na Figura 6. Trata-se de uma unidade inspirada em neurônios biológicos, em que X são as entradas e W os pesos sinápticos (sinapses). As bias são uma forma de controlar a Função de Ativação F do neurônio (a qual pode ser uma função linear ou não linear). Por fim, a Saída é o resultado da função F, que pode assumir diferentes características, desde binária até tangente hiperbólica, dependendo de cada aplicação (HAYKIN, 2001).

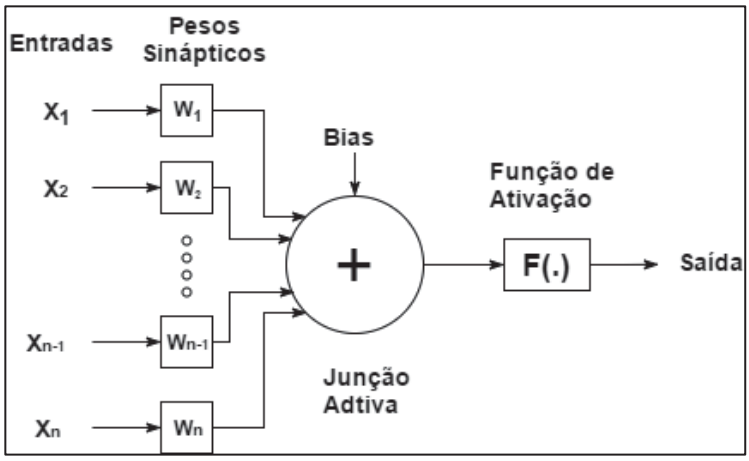

Figura 6. Esquemático do Neurônio Artificial.
Fonte: Adaptado de Haykin, 2001.

Assim, trata-se de um método de controle que permite a solução de problemas supervisionados, os quais possuem um referencial determinado pelo banco de dados disponível. Neste trabalho, a referência (ou a saída desejada) é a vazão de gás obtida no momento de coleta de dados para diferentes temperaturas.

Na construção da Rede Neural Multicamadas, os neurônios são dispostos em uma camada de entrada (podendo possuir múltiplas entradas), uma ou mais camadas intermediarias, e uma camada de saída. Cada neurônio disposto nas camadas possuem conexões com todos os outros elementos das camadas subjacentes (Figura 7). A existência de camadas ocultas permite que a RNA tenha a capacidade de abstrair as entradas, possibilitando a aplicação em ações não lineares (NASCIMENTO, *et al,* 2011).

Para este trabalho, a entrada e a saída da Rede Neural são apresentadas na Figura 7. A idade das aves presentes no galpão é à entrada de RNA, assim, a saída calculada é a vazão de gás necessária para cumprir os requisitos intrínsecos as entradas.

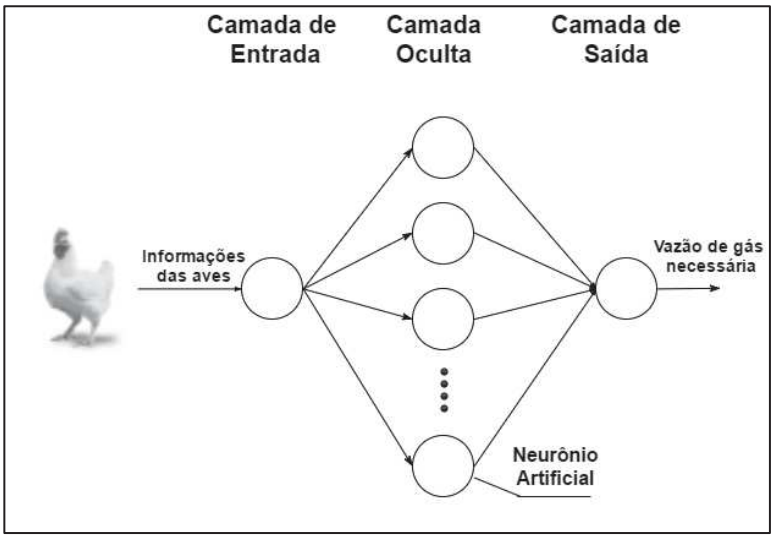

Figura 7. Rede Neural de Múltiplas Camadas.
Fonte: Autoria Própria.

O sistema de treinamento da rede de múltiplas camadas é denominado Retropropagação de Erro, ou *Backpropagation*. Esse método de treinamento consiste de duas etapas: propagação do sinal para frente, encontrando um valor de saída; e retropropagação em caso de erro na resposta (onde o sinal de erro se propaga para traz). Assim, durante o treinamento os pesos sinápticos são fixados e

um vetor de sinais de entrada é inserido na rede, resultando em uma ou mais saídas (propagação). Os valores obtidos nas saídas são comparados com os dados coletados anteriormente (sendo estes os valores desejados), assim o erro obtido é propagado na direção oposta (retropropagação) modificando os pesos sinápticos (treinamento). Essas etapas são realizadas por diversas iterações até que o sinal de saída esteja de acordo com a tolerância de erro desejada (KOVÁCS, 2002).

5. METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os materiais e detalhados os métodos e ferramentas utilizadas durante a coleta de dados, desenvolvimento do algoritmo e construção da interface gráfica.

5.1. MATERIAIS

Para a coleta de dados foi necessário preservar as principais características internas de um aviário. Para a execução deste procedimento foram utilizados os seguintes materiais;

- Campânula a gás GLP modelo comercial TOP2000, utilizado em sistemas de calefação de aviários;
- Maravalha e Serragem de madeira;
- Lona plástica preta;
- Termômetro infravermelho, modelo MT-360 da marca Minipa;
- Botijão com 13 kg de Gás GLP;
- Cronometro Digital de precisão com três casas de precisão;
- Balança digital de precisão para 30 kg modelo BCW 6/15/30 da marca Welmy;
- Registro regulador de gás de alta pressão P13, juntamente com mangueira e conectores para alta pressão;
- Sensor digital DS18B20;
- Arduino UNO;

5.2. METODOS

O projeto foi dividido em três etapas de execução; coleta de dados, construção da RNA; e desenvolvimento da interface gráfica para interação.

5.2.1. Coleta de dados

Para a coleta de dados operacionais do sistema de calefação, o ambiente de um aviário convencional foi reproduzido em uma planta experimental. Para tal, empregou-se uma campânula TOP2000 (Figura 8), que utiliza gás GLP em alta pressão. Conforme o fabricante, esta campânula consome de 1,66 gramas por minuto [g/min] até 12 [g/min] de GLP, podendo gerar no máximo 7680 [kcal/hora], instalada a 1,25 metros de altura com uma abrangência de 4x4 metros e, possui dispositivos de segurança capazes de sessar à vazão de gás quando a chama for apagada sem o devido comando (DUTCHMAN, 2017).

A campanula foi fixada por meio de cordas e correntes à cobertura, estando a 1,25 metros do piso (cama da planta do aviário).

Figura 8. Campânula a gás TOP 2000.
.**Fonte**: Autoria Própria.

Abaixo da campânula foi alocada, de forma centralizada, à cama do aviário. Esta foi constituída com uma camada de 2,5 cm de espessura, composta de maravalha e serragem de madeira, cobrindo uma área de 4x4 metros, abrangência máxima da campânula. A cama do aviário foi locada sobre uma lona plástica, a qual possui a função de isolar termicamente o piso de concreto. Para o funcionamento da campânula, utilizou-se de um botijão de gás GLP de 13 kg, mangueira e um registro regulador de gás (Figura 9).

Figura 9. Registro regulador de vazão de gás.
Fonte: Homgás

Por meio do regulador de vazão apresentado na Figura 9, o fluxo de gás foi variado em diferentes níveis, para assim caracterizar o comportamento da campânula no maior intervalo possível. Depois de instalado todo o sistema de calefação junto à cama do aviário, iniciou-se a coleta de dados de forma sistemática, seguindo o padrão do gabarito de pontos apresentado na Figura 10.

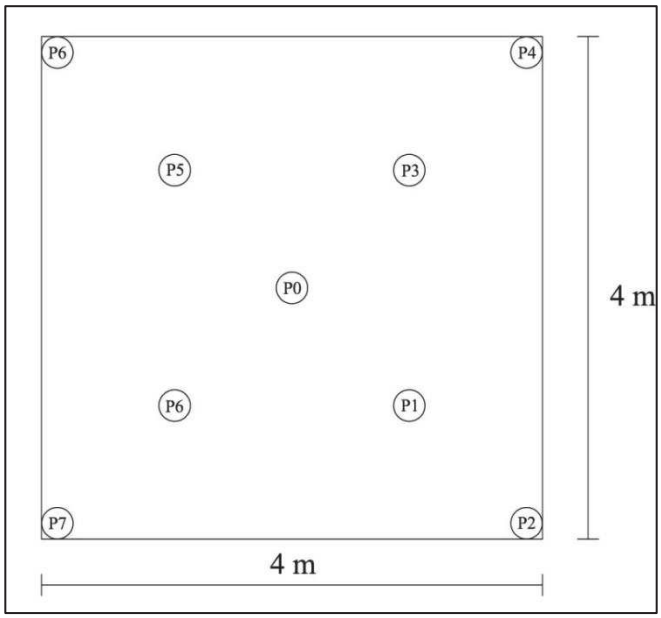

Figura 10. Gabarito de pontos para coleta de dados da temperatura.
Fonte: Autoria Própria.

Para iniciar a coleta de dados, com a campânula instalada à altura específica, a chama foi acesa empregando uma vazão de gás fixa, a qual permaneceu constante durante a coleta da temperatura nos pontos. A fim de estabilizar a

temperatura ambiente, antes de iniciar a tomada de dados, foram esperados dez minutos desde a ignição da chama a vazão fixa, para assim garantir a confiabilidade das amostras. Após do tempo de estabilização, a coleta de dados era realizada, sendo duas amostras de temperatura em cada um dos nove pontos demarcados sobre a cama do aviário, para confirmar os dados coletados.

Para determinação das temperaturas, utilizou-se um termômetro infravermelho MT-360 (Figura 11). Este permitiu coletar valores entre -30°C à 100°C com uma precisão de $\pm$ 2% de acordo com o fabricante Minipa. No caso, a emissividade foi devidamente configurada em 0,9 (para madeira). O posicionamento do instrumento de medição foi de aproximadamente um metro do ponto de interesse, para que houvesse menos interferência no dado obtido. Este processo de coleta de dados repetiu-se em diferentes vazões, para que o banco de dados obtido fosse representativo.

Figura 11. Termômetro infravermelho MT-360 da marca Minipa.
Fonte: Eletropeças Comercial Eletrônica Ltda.

A vazão de gás foi medida por meio da balança digital de precisão (Figura 12), da marca Welmy e modelo BCW 6/15/30, com precisão de $\pm$ 1g, juntamente com o cronometro de precisão. Depois de fixada a vazão a ser utilizada na tomada de dados, o cronometro era iniciado e o peso inicial do botijão anotado. Quando finalizada a coleta de amostras, encerrava-se o cronometro e anotava-se o peso final do botijão, considerando-se os segundos do cronometro. Desta maneira, foi obtida a vazão de gás a partir da variação do peso pelo tempo decorrido.

Figura 12. Balança Welmy BWC 6/15/30.
Fonte: Dimaq Equipamentos.

Utilizando os recursos apresentados nesta seção foi possível edificar a planta experimental para a coleta dos dados, formando assim, um banco de dados constituído pela temperatura em diversos pontos de atuação da campânula, de acordo com diferentes vazões de gás. A planta experimental é apresentada pela Figura 13.

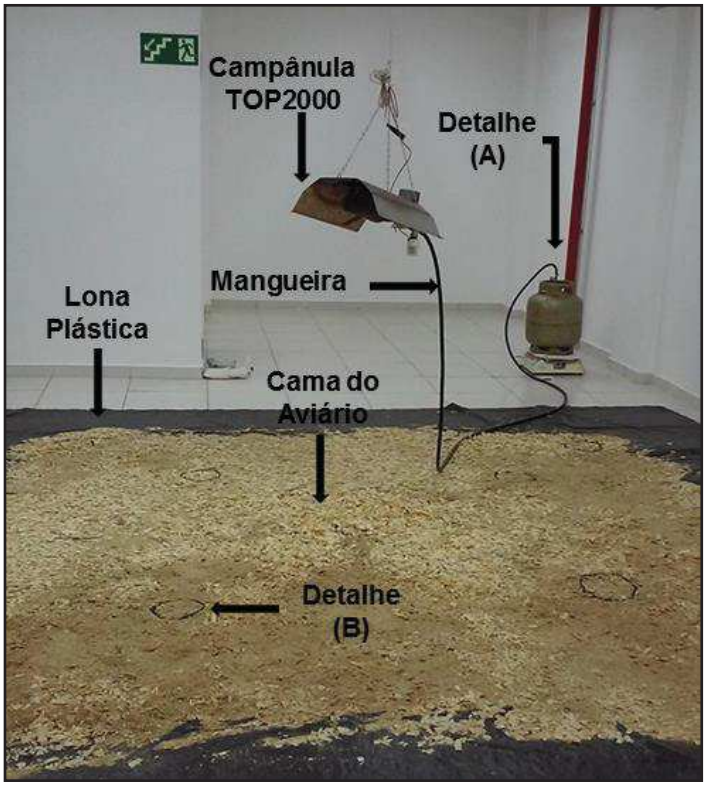

Figura 13. Planta para coleta de dados do sistema de calefação do aviário.
Fonte: Autoria Própria.

O detalhe (A) da Figura 13 se refere ao sistema de alimentação e medição da vazão de gás da planta, de acordo com a Figura 14.

Figura 14. Detalha (A). Sistema de alimentação e medição de gás da planta.
Fonte: Autoria Própria.

O gabarito utilizado para a coleta de dados (Detalhe (B) da Figura 13) foi inserido a planta conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15. Detalhe (B). Gabarito de coleta de dados inserido a planta.
Fonte: Autoria Própria.

Por fim, os dados coletados na planta foram utilizados para o treinamento da RNA, sendo que as amostras coletadas se mostraram suficientes para a convergência do treinamento da rede.

5.2.2. Sistemas auxiliares para validação da coleta de dados

A fim de validar o método utilizado para a coleta de dados realizada para o treinamento da RNA, bem como os instrumentos de medida, foram construídos dois sistemas auxiliares de medidas, para a temperatura e vazão de gás, descritas nos itens a seguir.

5.2.2.1. Sistema de verificação de confiabilidade do termometro

Para validar os dados coletados com termômetro infravermelho, foi utilizado um sensor de temperatura digital DS18B20 fabricado pela *Dallas Semiconductor* (Figura 16). Este possui encapsulamento TO-92 em formato de sonda à prova d'agua, que se utiliza o protocolo de comunicação *one-wire.*

Figura 16. Sensor de temperatura DS18B20.
Fonte: http://blog.filipeflop.com.

De acordo com o datasheet do instrumento, a faixa de operação destes sensores está entre -55 °C e 125 °C. Contudo, para este trabalho a atuação esta entre -10 °C e 85 °C, o qual possui precisão de ±0,5 °C. Ainda, o encapsulamento TO-92 possui três terminais: GND, DATA, Vcc. Este modelo permite que os sensores sejam instalados de duas formas: a convencional, em que cada terminal possui um fio independente; e o método chamado “parasita”, no qual se utiliza o protocolo *one-wire* (o terminal DATA também é utilizado para a alimentação do sensor). O segundo foi utilizado no trabalho.

O sensor foi utilizado por meio de comunicação com Arduino UNO, onde o código utilizado para configurar e ler os dados do sensor foi adaptado do código apresentado e testado por McRoberts (2011), com pequenas alterações a fim de moldar o algoritmo para o trabalho em questão. As conexões realizadas entre o sensor e o Arduino estão apresentadas na Figura 17.

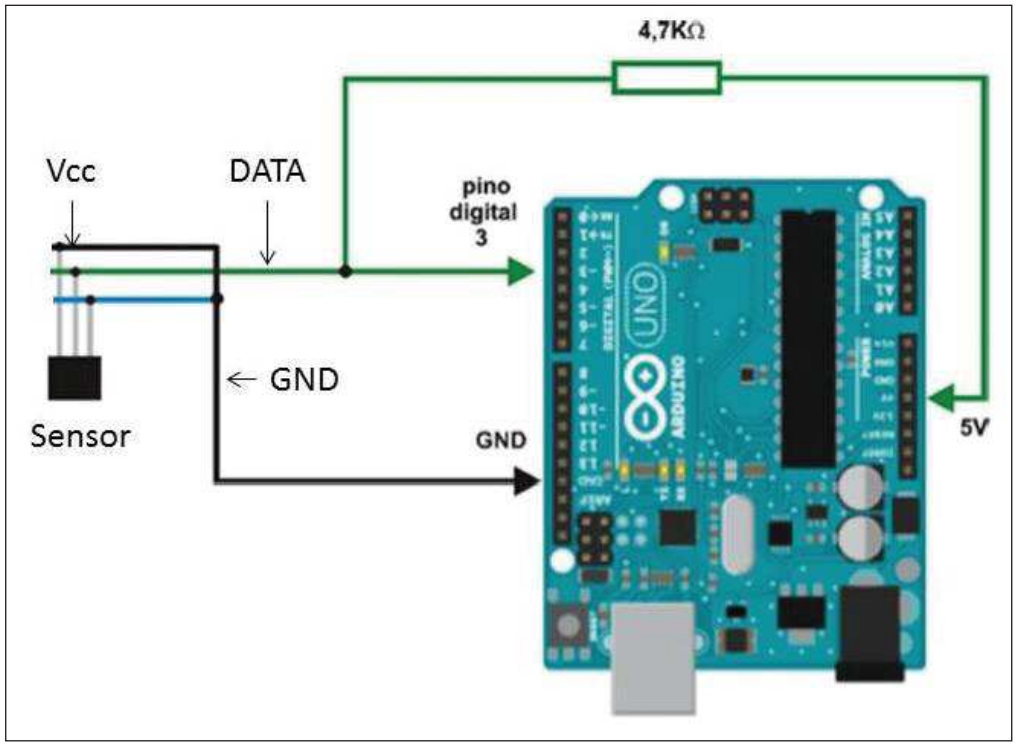

Figura 17. Esquemático de ligação do sensor DS18B20.
Fonte: Adaptado Amorim, 2015.

Os dados coletados pelo sensor foram enviados para o computador via cabo USB, visualizados e armazenados por meio da ferramenta “Monitor Serial”, presente na IDE do Arduino UNO.

O sensor foi alocado sobre a cama de maravalha, conforme apresentado na Figura 18. O termômetro MT-360 foi configurado com a emissividade para madeira (0,9 de acordo com o manual do usuário) e posicionado a um metro da cama, para assim utilizar a mesma metodologia adotada para a coleta dos dados.

Figura 18. Sistema auxiliar utilizado para coleta de dados.
Fonte: Autoria própria.

Desta forma, foram coletados dados simultaneamente, tanto com o sensor DS18B20 quanto com o termômetro infravermelho. Estes foram submetidos a diferentes condições de temperatura em um ambiente com temperatura controlada, para posteriormente realizar a análise dos dados.

5.2.2.2. Sistema auxiliar de analise dos dados de vazão de gás

Para verificar a continuidade da vazão de gás consumido durante a queima, foi construído um sistema de alimentação auxiliar, a fim de analisar e comparar o comportamento da vazão de gás quando a mangueira de alimentação do queimador esta livre ou suspensa.

Foi empregado à mesma balança Welmy do modelo BCW 6/15/30 (para mensurar a variação do peso de um botijão de gás de 13 kg) e o registro regulador de vazão de gás, equipamentos empregados na metodologia de coleta apresentada anteriormente. Desta forma, construiu-se o sistema auxiliar conforme a Figura 19.

Figura 19. Sistema auxiliar utilizado para coletar dados de vazão
Fonte: Autoria própria.

Primeiramente a mangueira de alimentação foi instalada conforme a Figura 14, no qual a mangueira esteve sem qualquer tipo de suspensão, chamada livre, ilustrado na Figura 19 (a). Estando com o sistema instalado foi efetuada a queima do gás durante 20 minutos. Neste período, as amostras do peso do botijão foram coletadas a cada minuto decorrido.

Este mesmo processo se repetiu com a mangueira suspensa (Figura 19 (b)) empregando a mesma abertura do registro regulador de vazão utilizado anteriormente. Com estes dados coletados, foi possível analisar a interferência que o método de instalação provoca ao sistema e, consequentemente, aos dados obtidos.

5.2.3. Construção de treinamento da Rede Neural Artificial

Na segunda etapa do projeto, com os dados operacionais já coletados e validados, deu-se início ao treinamento da rede. A RNA foi treinada utilizando o software matemático *MatLab* por meio da ferramenta *Neural Network/Data Manager*,

ou *nntool* (Figura 20). Esta ferramenta permite a escolha da rede que será utilizada e também o método de treinamento empregado. Nesta ferramenta, os pesos sinápticos da rede multicamadas foram calculados por meio do treinamento *Backpropagation*, partir dos valores de entrada e saída coletados na maquete anteriormente.

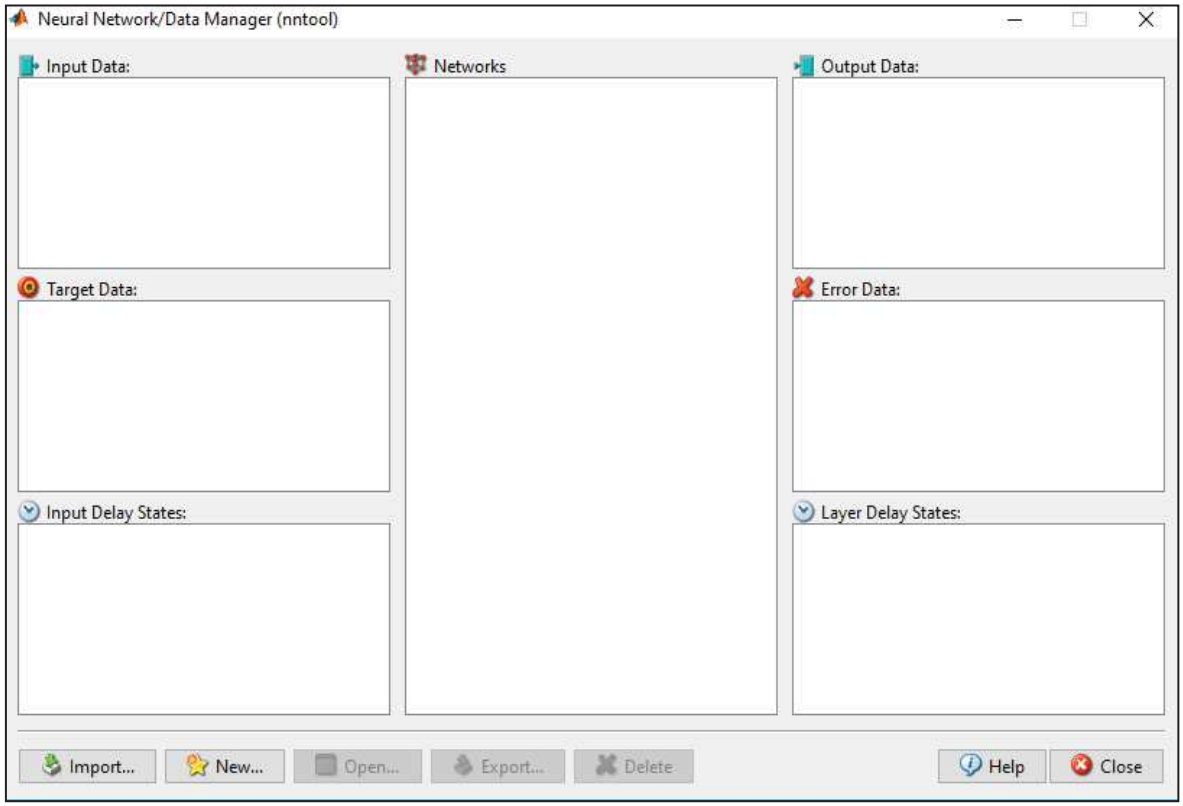

Figura 20. Ferramenta nntool, utilizada para o treinamento da rede.
Fonte: Autoria Própria.

Já com a RNA estruturada e devidamente treinada, esta foi implantada na interface gráfica, de tal forma que o usuário possa utiliza-la.

5.2.4. Elaboração da interface gráfica

De posse dos dados coletados, da RNA devidamente treinada e edificada, passou-se à elaboração da interface gráfica. A interface foi desenvolvida para que o usuário possa inserir as entradas da rede e visualizar o valor da saída de interesse (calculado pela RNA).

O ambiente de desenvolvimento utilizado para a construção da interface foi o *Qt Creator* (Figura 21). Trata-se de um ambiente que disponibiliza uma versão gratuita para estudantes.

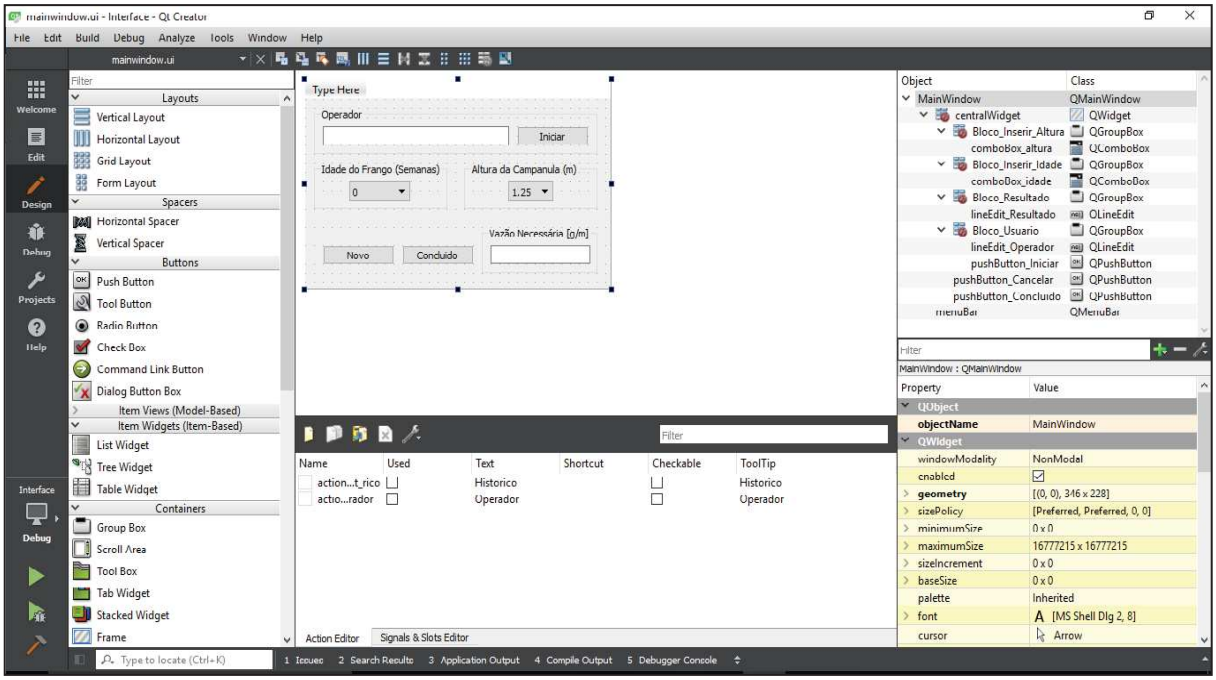

Figura 21. Interface de desenvolvimento *Qt Creator.*
Fonte: Autoria Própria.

O *Qt Creator* é um ambiente gráfico que utiliza linguagens de programação orientadas a objeto, como C++ (linguagem utilizada neste trabalho). Nele, os objetos são criados de forma gráfica, interconectados entre si e suas respectivas ações por meio de linha de código, permitindo que a execução da RNA seja implantada como ações dos objetos presentes na interface.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capitulo são apresentados e analisados os resultados obtidos, tais como os dados levantados, cerca do desenvolvimento da Rede Neural Artificial e sua interface funcional.

6.1. ANÁLISE DE VALIDAÇÃO DOS DADOS DE TEMPERATURA

Para respaldo e validação da metodologia da tomada dos dados de termometria utilizando termômetro infravermelho MT-360 foi realizada uma segunda coleta de dados. Nesta foi utilizado o sensor DS18B20, juntamente com o termômetro. Os dados coletados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Dados de temperatura [°C] coletados com os sensores DS18B20 e Termômetro MT-360.

DS18B20	MT-360	ERRO	DS18B20	MT-360	ERRO
15,38	14,50	-0,88	20,55	20,50	0,05
15,63	15,00	-0,63	20,87	20,50	0,37
15,75	15,50	-0,25	20,94	20,50	0,44
15,80	16,00	0,20	20,94	20,30	0,64
15,81	15,50	-0,31	21,01	20,50	0,51
16,19	15,50	-0,69	21,06	21,00	0,06
16,19	16,00	-0,19	22,75	23,00	-0,25
16,37	16,00	-0,37	25,00	25,00	0,00
16,80	17,00	0,20	25,87	26,00	-0,13
17,12	17,00	-0,12	26,69	26,50	0,19
17,69	17,50	-0,19	27,81	27,50	0,31
18,06	18,00	-0,06	30,10	31,00	-0,90
18,20	18,00	-0,20	30,50	30,50	0,00
18,56	18,50	-0,06	31,00	30,50	0,50
18,94	19,00	0,06	32,00	31,50	0,50
19,37	19,50	0,13	32,45	33,00	-0,55
19,67	19,50	-0,17	33,50	33,00	0,50
20,10	19,50	-0,60	34,52	35,00	-0,48

Fonte: Autoria Própria.

O comparativo entre o comportamento dos dados obtidos na coleta está apresentado na Figura 22.

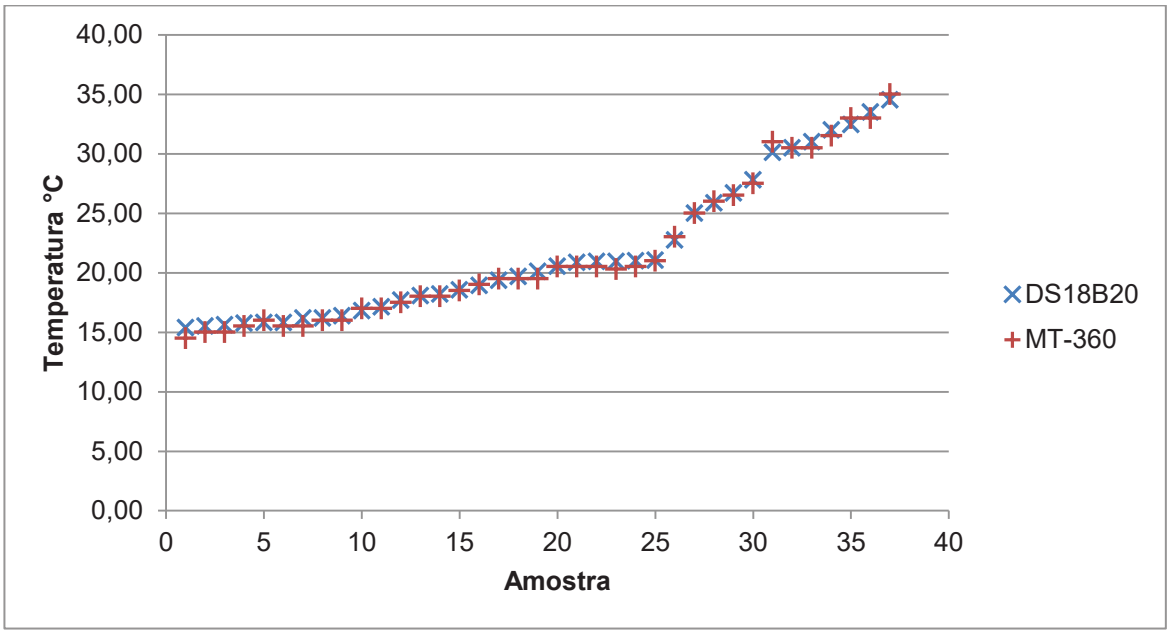

Figura 22. Variação de temperatura utilizando os sensores.
Fonte: Autoria Própria.

Por meio da Tabela 2 nota-se que ambos os instrumentos utilizados para mensurar a temperatura obtiveram valores similares. Houveram pequenas variações, sendo que a maior foi de 2,9% do valor mensurado. O erro médio apresentado entre os dois equipamentos foi de aproximadamente 0,30 °C, com um desvio padrão do erro de ±0,28 °C. Por meio destes dados pode-se afirmar com 95% de certeza que o intervalo de confiança da média do erro de medida é de 0,30 ± 0,09 °C (FONSECA, 2012). Desta forma, estatisticamente 95% dos dados coletados possuem um erro dentro do intervalo de confiança.

Considerando que a precisão do termômetro infravermelho indicada pelo fabricante Minipa é de 2% do valor mensurado, e também que a temperatura máxima medida na planta foi de 31,22°C, temos que o maior erro permitido seria 0,62 °C.

Associando os dados coletados com a metodologia comparativa entre sensores de temperatura, abordada por Martinazzo (2016), o qual este apresenta o sensor DS18B20 como um instrumento de aquisição de dados confiável, pouco afetado por variações acarretadas devido variáveis externas, pode-se afirmar que o sensor MT-360 também é confiável devido ao baixo erro médio e desvio padrão do erro de medida entre os sensores (Figura 22). Ainda para autor, os valores discrepantes de medida que estejam dentro da faixa de precisão do equipamento

(0,30 $\pm$ 0,09 °C é menor que o erro de 0,62 °C tolerado pelo termometro) afetam minimamente o sistema de aquisição de dados.

Comparando o erro médio associado ao desvio padrão dos dados coletados, a precisão do termômetro MT-360 indicado pelo fabricante é coerente, confirmando a precisão do instrumento na coleta de dados na planta (Figura 13), de tal modo que possíveis erros de medição dos valores constatados no sistema auxiliar não interferiram significativamente na proposta deste trabalho.

6.2. VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIDA DA VAZÃO DE GÁS

Com os dados de vazão já coletados, deu-se início a análise destes. Os dados coletados na aquisição estão apresentados na Figura 23.

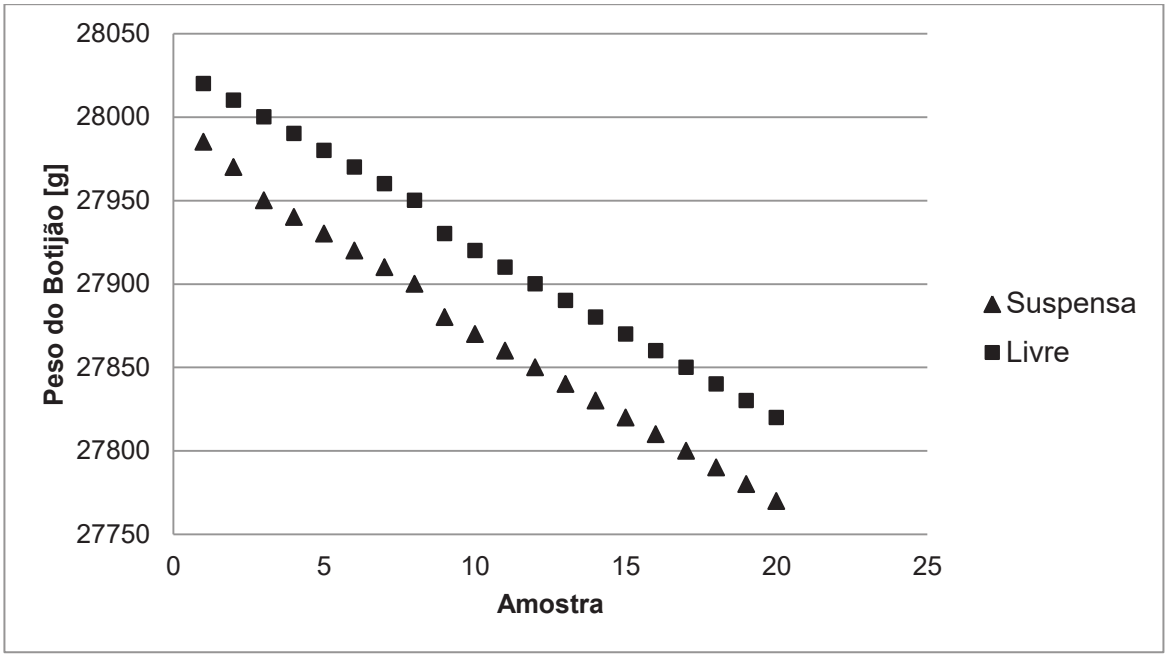

Figura 23. Comportamento da vazão de gás.
Fonte: Autoria Própria.

Com base na Figura 23, temos a Equação 1 como representante da curva de tendência dos dados coletados com a mangueira de alimentação livre, sendo

$$y_{livre} = -10{,}722 * x + 28032 \qquad R^2_{livre} = 0{,}9983 \qquad \text{Eq.1}$$

onde: y_{livre} representa o peso do botijão de gás, x a amostra coletada e R^2_{livre} o erro de aproximação da curva. Devido ao fato de $R^2_{livre} \approx 1$ se pode inferir que o comportamento da vazão de gás utilizando a mangueira livre é linear. Isto também ocorre com a mangueira suspensa, com base na curva de tendência apresentada na Equação 2

$$y_{susp} = -11{,}064 * x + 27986 \qquad R^2_{susp} = 0{,}9961 \qquad \text{Eq.2}$$

sendo: $R^2_{susp} \approx 1$.

Deste modo pode-se afirmar que a vazão de gás se comporta de maneira linear e contínua em ambos os métodos de instalação. Ou seja, as pequenas variações apresentadas na Figura 23 possuem impactos irrelevantes para o estudo deste trabalho. Ainda neste contexto, comparando os coeficientes angular [α] das duas retas, pode-se considerar que a vazão de gás média durante o tempo de analise é a mesma, pois $\alpha_{susp} \approx \alpha_{livre}$. Sendo assim, o comportamento do sistema de alimentação independe do método de instalação da mangueira de alimentação, de tal modo onde apenas o peso inicial é afetado por este.

6.3. TEMPERATURA VERSUS VAZÃO

A fim de compreender o comportamento térmico na região sob a campânula, com o equipamento em operação, e assim utilizar os dados coletados na planta de forma mais apropriada para o treinamento da RNA, construiu-se a Figura 24.

Para a construção da Figura 24 foi utilizado o *software* Matlab, utilizando as funções *interpn()* (para realizar uma interpolação cubica da matriz de dados coletados), e a função *mesh()* (para desenhar a curva de nível dos dados interpolados). Foi utilizado para a construção os dados de temperatura referentes à vazão de 12 g/min, por ser a maior vazão obtida na coleta de dados. Deste modo ás características essenciais do comportamento térmico foram acentuadas, logo, facilitou-se a visualização e análise.

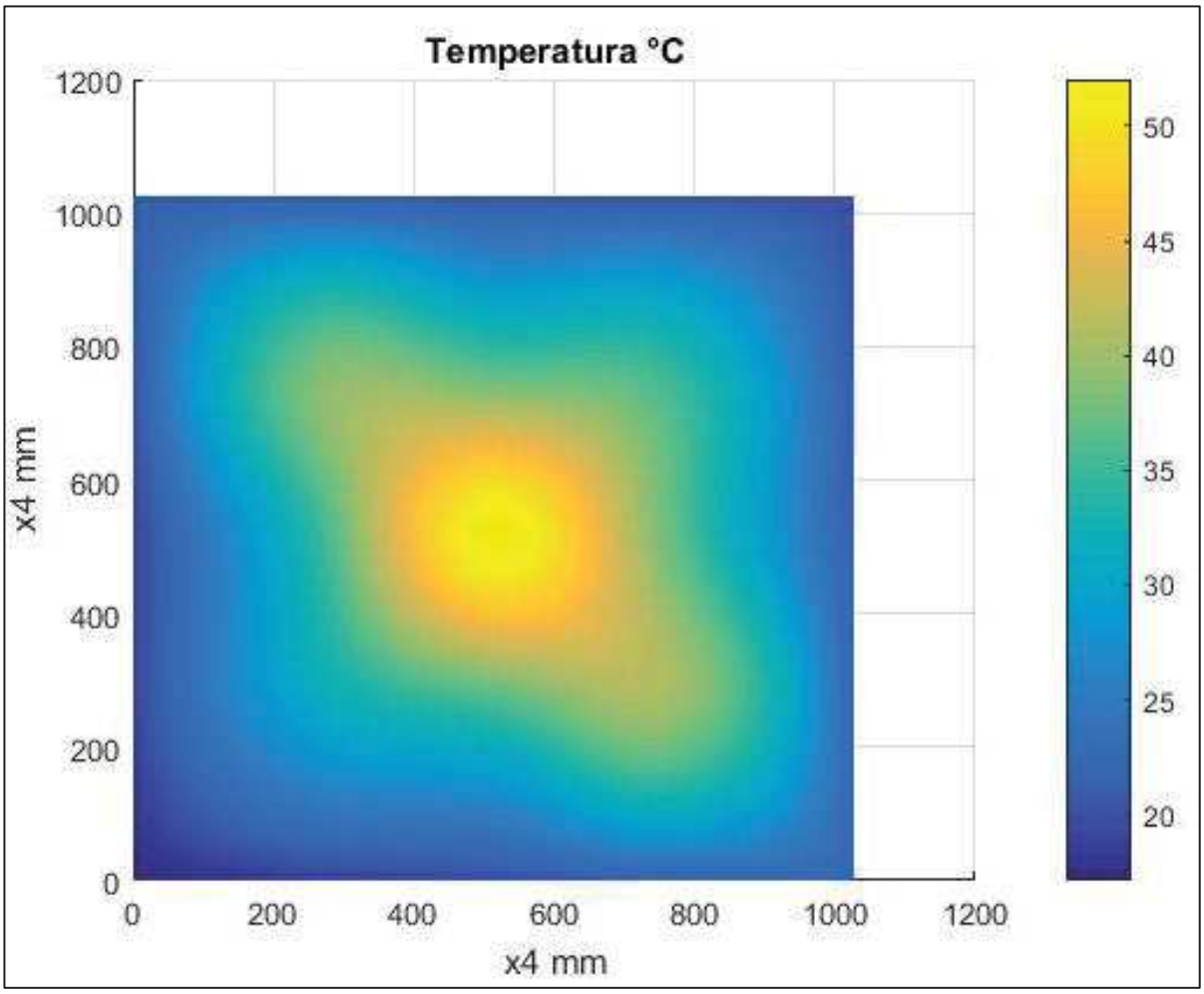

Figura 24. Comportamento térmico da campânula levantado em laboratório.
Fonte. Autoria Própria.

Com base na Figura 24, é possível notar que a ausência das campânulas justapostas (Figura 3) proporciona regiões com baixas temperaturas nas extremidades da planta. Nota-se também que devido à ausência das demais campânulas, o centro da planta está sujeito a elevadas temperaturas, muito superiores às necessárias para o desenvolvimento dos animais. Isto ocorre devido à necessidade de aplicar na campânula altas vazões de gás para o equipamento atingir temperaturas mais elevadas na região. Este fenômeno ocorre devido à pouca capacidade de dispersão de calor produzido por um equipamento isolado.

Estes níveis de temperatura extrema, tanto na região central quanto nas regiões periféricas da planta, de acordo com Abreu (2004), são prejudiciais para as aves presentes no aviário, indicando possível ineficiência deste sistema de aquecimento quando é manejado de forma incorreta.

Neste contexto, os dados de temperatura em função da vazão utilizados para o treinamento da RNA foram tratados de modo a minimizar os impactos ocasionados pela falta das campânulas adjacentes e, consequentemente, a elevada diferença entre temperaturas da região central para regiões periféricas. Este comportamento extremo foi minimizado empregando a média aritmética dos cinco pontos centrais do gabarito de coleta de dados (Figura 10) sob a campânula. Assim, o comportamento da função Temperatura Média versus Vazão é apresentado na Figura 25, pelo qual é possível notar o comportamento não linear da Temperatura Média da campânula.

.

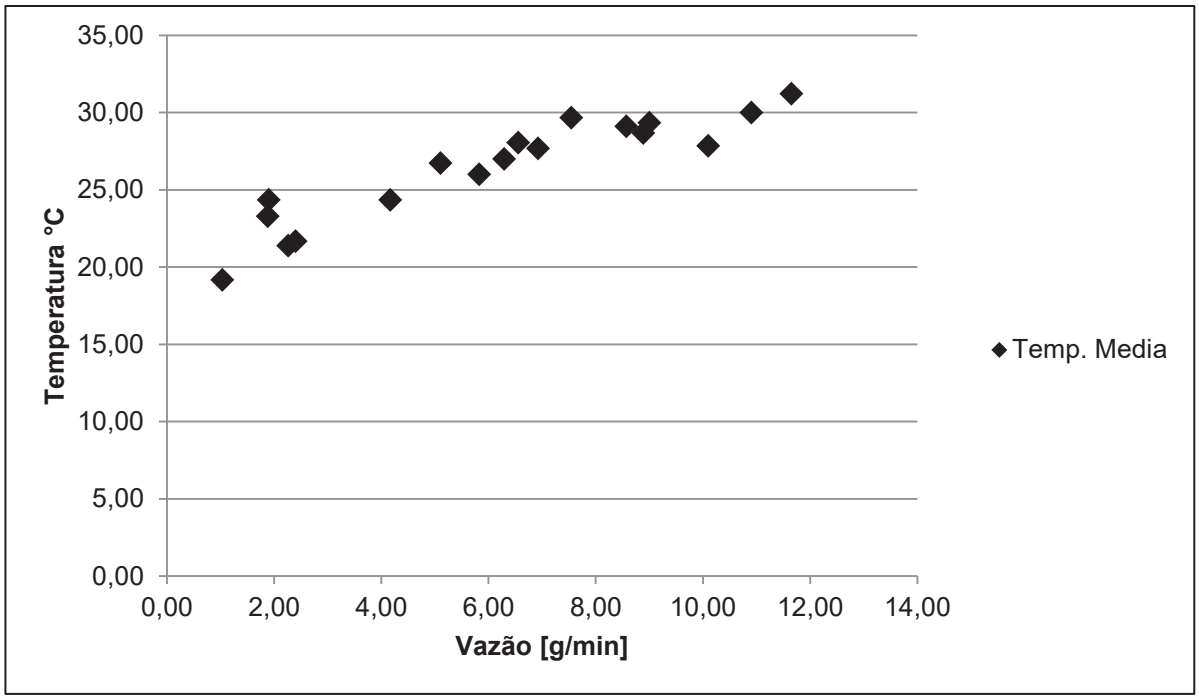

Figura 25. Comportamento de Temperatura x Vazão da campânula estudada.
Fonte. Autoria Própria.

A partir da análise e do tratamento dos dados coletados foi possível determinar as amostras de entrada e saída do sistema a serem empregadas no treinamento da RNA. A entrada da RNA é a temperatura desejada de acordo com a idade do frango presente no aviário. Esta será informada pelo usuário. A saída da RNA é o valor da vazão de gás necessária para a campânula atingir a temperatura desejada (valor a ser calculado pela RNA). A Tabela 3 apresenta os dados organizados para o treinamento da RNA.

Tabela 3. Amostras organizadas para o treinamento da RNA.

Amostra	ENTRADA Temp. °C	SAÍDA Vazão [g/min]
1	30	10,91
2	27,83	10,10
3	26,72	5,11
4	29,67	7,55
5	24,33	1,90
6	23,28	1,88
7	26,00	5,83
8	28,06	6,56
9	31,22	11,65
10	21,39	2,26
11	24,33	4,17
12	27,00	6,29
13	28,67	8,89
14	19,17	1,03
15	27,67	6,92
16	29,11	8,57
17	29,33	9,00
18	21,67	2,40

Fonte: Autoria própria.

Conforme Tabela 3, o treinamento da RNA foi constituído a partir de 18 amostras com intervalo de abrangência de 19,17 °C até 31,22 °C para os valores de entrada. Houve necessidade também de limitar os valores de entrada do usuário, dentro do intervalo de valores de convergência. Entretanto, a faixa de valores utilizados no treinamento satisfez o intervalo de interesse para o problema abordado no trabalho.

6.4. TREINAMENTO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL

Com os dados validados e organizados (Tabela 3), iniciou-se ao treinamento da RNA utilizando o método *Backpropagation* por meio da ferramenta de desenvolvimento *nntool* disponibilizada no software matemático *Matlab*. Determinou-se o método *Backpropagation* para o treinamento devido à grande quantidade de

material presente na literatura e do fato de sua funcionalidade já ter validade em outros estudos.

Por se tratar de um problema que envolve números reais, tanto para sua entrada quanto para a saída, foi escolhido para os neurônios presentes na RNA deste este projeto a função de ativação sigmoidal (Equação 3)

$$f(net) = \frac{1}{1+e^{-net}} = \tanh(net) \qquad \text{Eq.3}$$

sendo que net é descrito na Equação 4

$$net = (\sum_{i=1}^{n} x_i * w_{ij}) + bias \qquad \text{Eq.4}$$

onde: x sãos as entradas de cada neurônio a serem ponderadas pelos seus respectivos pesos sinápticos w, somado a taxa de ajuste $bias$. O índice i representa as entradas do neurônio isolado, sendo que o número de entradas pode variar de um até n. O índice j representa a camada em que está localizado o neurônio.

Conforme a Figura 26, as duas camadas que constituem a RNA foram denominadas de camada oculta e camada de saída. O emprego de duas camadas se deu por tratar-se de um problema não linear com apenas uma entrada e uma saída. Logo, não há necessidade de mais camadas para a abstração dos dados de interesse, conforme descrito em Haykin (2001).

O treinamento foi realizado em diferentes RNA's com diferentes quantidades de neurônios na camada oculta. Ao final verificou-se que a arquitetura mais adequada para este projeto em questão foi a RNA com cinco neurônios na camada oculta.

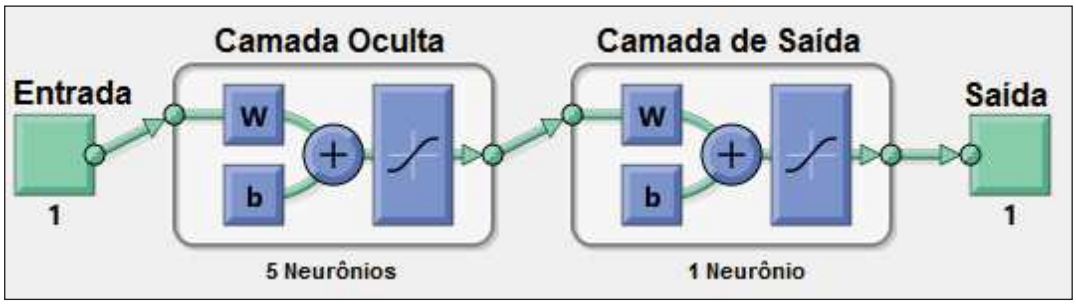

Figura 26. Rede Neural Artificial obtida após o treinamento.
Fonte: Adaptado *Matlab*.

Empregou-se esta arquitetura (Figura 26) devido ao menor erro médio apresentado após o treinamento nas diferentes RNA's. Os resultados obtidos durante os treinamentos são apresentados na Tabela 4. O mesmo treinamento fundamentado nas amostras da Tabela 3, foi aplicado nas sete arquiteturas de RNA testadas, tendo sido modificando apenas numero de neurônios presentes na camada oculta de cada rede. Na Tabela 4 esta destacada em cinza os dados referentes à arquitetura que apresentou o menor erro após o treinamento (cinco neurônios).

Tabela 4. Erro obtido após o treinamento para diferentes arquiteturas de RNA's.

	Número de Neurônios na Camada Oculta						
Amostra	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
1	2,3812	-0,4509	0,9099	1,4797	0,1391	0,7825	-0,7401
2	2,6075	3,3080	-0,5488	1,5265	3,6000	2,8789	-1,5522
3	-1,3363	-0,0510	-5,7323	-1,5277	-0,7636	-0,9535	-2,6270
4	-0,8824	-3,4734	-2,6860	-1,8479	-2,4658	-1,4789	-4,1000
5	-1,5124	-2,1693	-9,5943	-0,9198	-1,2613	-1,1305	-0,2997
6	-0,5901	-2,0618	-9,6690	-0,7629	-0,1303	-0,0051	-0,4678
7	0,2691	1,2104	-5,2442	1,0549	0,2024	0,0121	3,2503
8	-1,0981	-0,7349	-4,0625	-2,2267	-0,1739	-0,9866	-5,0900
9	2,8768	0,0044	4,0532	2,1727	0,0137	0,0068	0,0000
10	0,5753	0,4514	-9,2882	-0,3256	0,0726	0,0096	-0,7503
11	0,7577	0,1007	-7,3243	1,3502	1,0067	1,1395	1,9703
12	-0,4597	0,8275	-4,4864	-0,9961	0,3095	0,0852	-4,8807
13	0,8673	0,0390	-1,6545	-0,2646	1,2688	0,8600	-2,7600
14	-0,3927	-0,0270	-10,1324	-1,1050	0,0038	-0,0222	-0,2000
15	-0,4474	0,4424	-3,1324	-1,4737	0,6747	-0,0498	-4,7330
16	0,3423	-1,4083	-1,8850	-0,7286	0,0068	0,5213	-3,0800
17	0,6851	-1,4579	-1,3882	-0,3462	-0,1200	0,6642	-2,6502
18	0,6486	-0,6260	-9,1523	-0,1924	0,1391	1,8461	-0,3357
Erro Médio	0,7214	0,6805	4,2745	1,08	0,6801	0,6833	2,2987

Fonte: Autoria Própria.

O erro é a diferença entre a saída obtida da rede, após o treinamento, e os dados de saída desejados utilizados para o treinamento, de acordo com suas respectivas amostras (Tabela 3). Quanto maior for este erro menor será a confiabilidade do resultado apresentado pela RNA. Contudo, o erro obtido com a

arquitetura da RNA escolhida (cinco neurônios) satisfaz as condições para este trabalho, não impactando significativamente para a ambiência das aves.

Com o treinamento concluído e os valores dos pesos sinápticos e das $bias$ obtidos pela ferramenta *nntool,* foram geradas as Tabela 5 e Tabela 6, camada oculta e camada de saída, respectivamente. Estas apresentam os valores exclusivos de $bias$ e os de peso sináptico w para cada neurônio presente no RNA.

Tabela 5. Pesos sinápticos e $bias$ da camada oculta calculada.

Neurônio	Pesos Sinápticos	$bias$
1	-7,1746	6,8379
2	-3,0272	3,039
3	-6,86	-1,0095
4	-7,0759	-3,3432
5	7,5897	6,2275

Fonte: Autoria Própria.

Diferente dos neurônios presentes na camada oculta, o neurônio da camada de saída possui cinco entradas (saídas dos neurônios da camada oculta) e um $bias$, desta forma cada entrada possui seu respectivo peso, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Pesos sinápticos e $bias$, da camada de saída, calculados.

Neurônio	Peso Sináptico em sua respectiva entrada					$bias$
	1	2	3	4	5	
1	-7,0684	-2,7085	-0,57783	0,26446	2,1726	0,78956

Fonte: Autoria Própria.

Depois de calculados no treinamento os pesos sinápticos e $bias$ foram fixados na RNA, e permanecem sem alteração durante a utilização de RNA pelo usuário, independe dos valores de entrada inseridos.

Estando a RNA concluída, passou-se ao desenvolvimento da interface gráfica, a fim de facilitar a inserção dos valores na RNA assim como a visualização dos resultados obtidos. Posteriormente foi inserido o algoritmo da RNA na interface.

6.5. INTERFACE GRÁFICA

O desenvolvimento da interface gráfica foi realizado na plataforma IDE *Qt Creator* desenvolvida pela *QT Company*. Trata-se de uma IDE direcionada para construção de interfaces por meio de linguagem de programação orientada a objetos, sendo utilizada para este trabalho a linguagem C++.

Para dar início à construção da interface gráfica, todos os objetos que a constituem (*push-buttons,* linhas de texto, caixas de diálogo) foram dimensionados e posicionados graficamente, utilizando a ferramenta *Design* disponibilizada pela IDE (Figura 21).

Estando com os objetos já alocados e compilados, a próxima etapa foi conectar estes a suas respectivas funções. A IDE possui uma ferramenta que faz estas conexões automaticamente, entre o objeto com sua respectiva função (criada e prototipada pela própria IDE) de acordo com o evento apropriado e/ou desejado. Por exemplo: quando ocorrer o evento de “clicar” em um botão especifico, o código é direcionado para a função que lê o valor inserido na caixa de texto e o insere na RNA, efetuando os cálculos e apresentando a saída em outra caixa de texto.

Já com os componentes gráficos alocados e conectados, foram programadas as funções de cada componente, indicando as ações a serem tomadas de acordo com a interação do usuário com a interface gráfica. Na Figura 27 é apresentada a janela inicial do programa concluído.

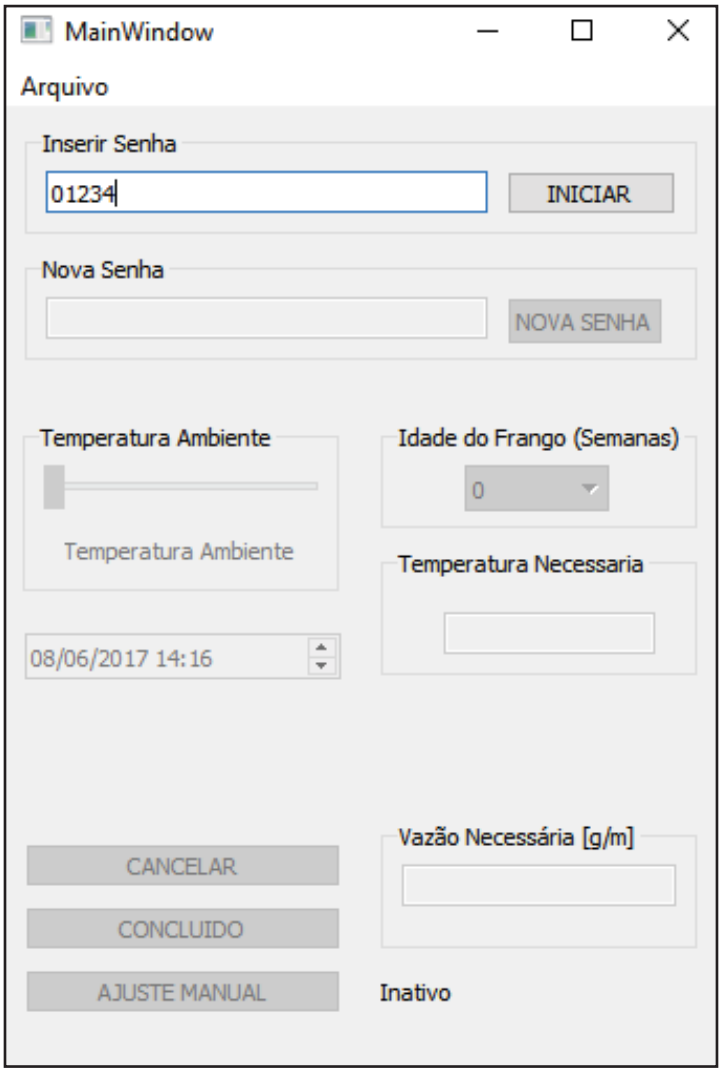

Figura 27. Janela inicial da interface gráfica.
Fonte: Autoria Própria.

Deste modo, ao abrir a interface é necessário digitar a senha de acesso para possibilitar interação com as demais funcionalidades do programa. A senha é um valor pré-programado podendo ser alterado durante a operação. Depois de inserida a senha correta, o programa é desbloqueado e as demais funcionalidades são ativadas (Figura 28).

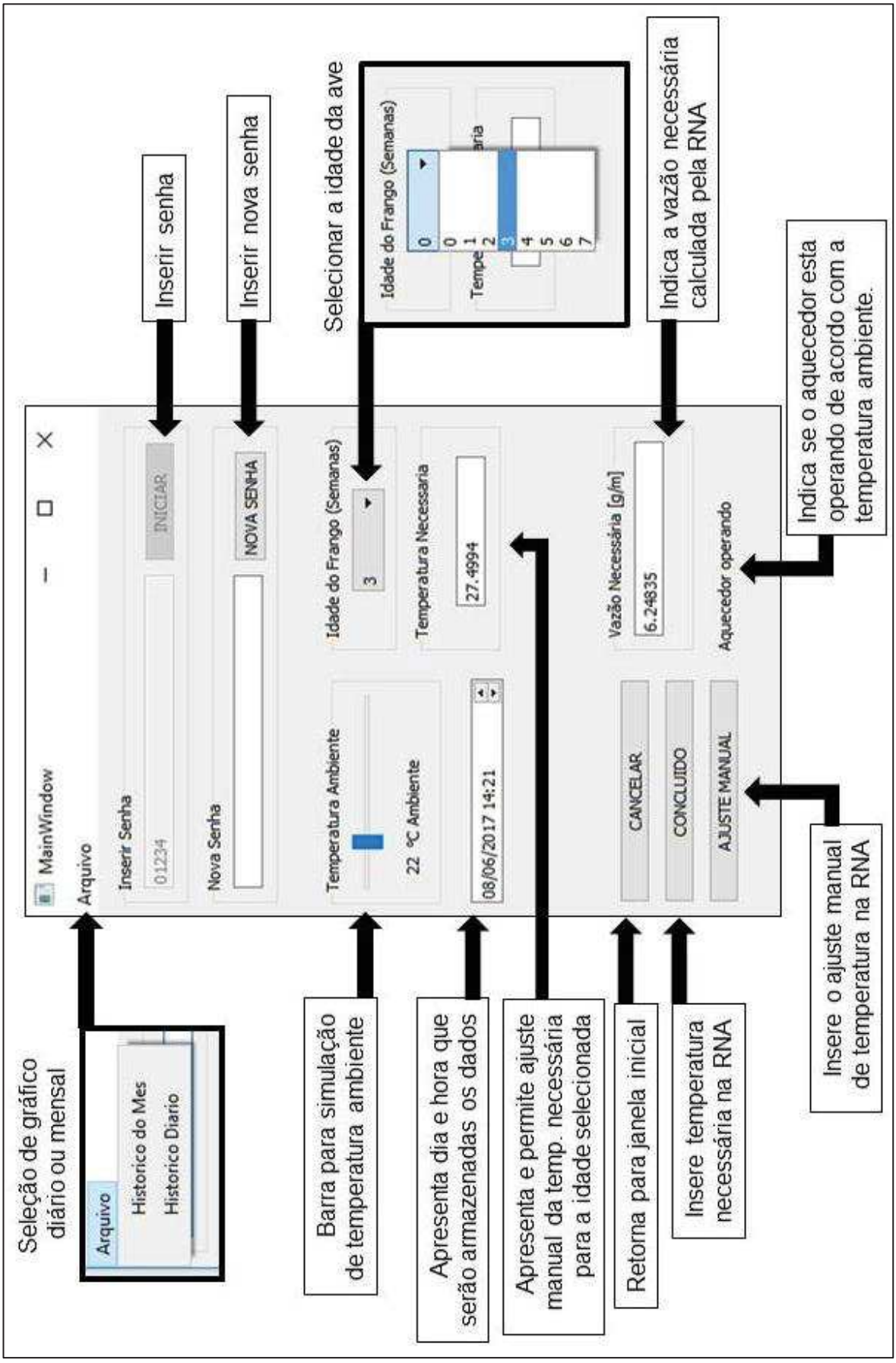

Figura 28. Funcionalidades do programada desenvolvidas.
Fonte: Autoria Própria.

A operação do sistema consiste em, primeiramente, inserir a idade dos frangos presentes no aviário, depois, quando for solicitado o acionamento do botão “CONCLUIDO”, a RNA calcula a vazão necessária. Caso o usuário pressione o botão sem ter selecionado uma idade para aves que seja válida, uma janela de aviso abre e interrompe a operação, solicitando que o operador selecione uma idade válida.

Ao selecionar a idade, o programa calcula qual a temperatura ideal, de acordo com Tabela 1, apresentando-a no quadro “Temperatura necessária”. Esta temperatura pode ser ajustada manualmente pelo operador, digitando o valor na caixa de texto e clicando no botão “AJUSTE MANUAL”, para depois ser encaminhada para o cálculo da RNA. O ajuste manual é permitido desde que a temperatura digitada esteja dentro da faixa de valores ideal para a idade da ave selecionada (Tabela 1). Caso uma temperatura inválida seja digitada, abrirá uma janela de aviso e a temperatura será recalculada para a idade selecionada.

Uma vez inserida a idade das aves, o programa automaticamente atualiza, com o passar do tempo, a idade dos animais e, consequentemente, a temperatura desejada, sem a necessidade de supervisão do operador.

Com os dados inseridos corretamente a vazão calculada é apresentada no bloco “Vazão Necessária [g/min]”. Além disso, todas as operações realizadas no dia são armazenadas e podem ser visualizadas em tempo real no gráfico disponível em “Histórico Diário”, presente na aba “Arquivo”.

Na Figura 29 é apresentada a interface gráfica completa. Pode-se notar que ao abrir a janela de diálogo “Histórico Diário”, temos os valores em tempo real da temperatura ambiente simulada, temperatura desejada para a ave e também a vazão de gás calculada pela RNA (Saída).

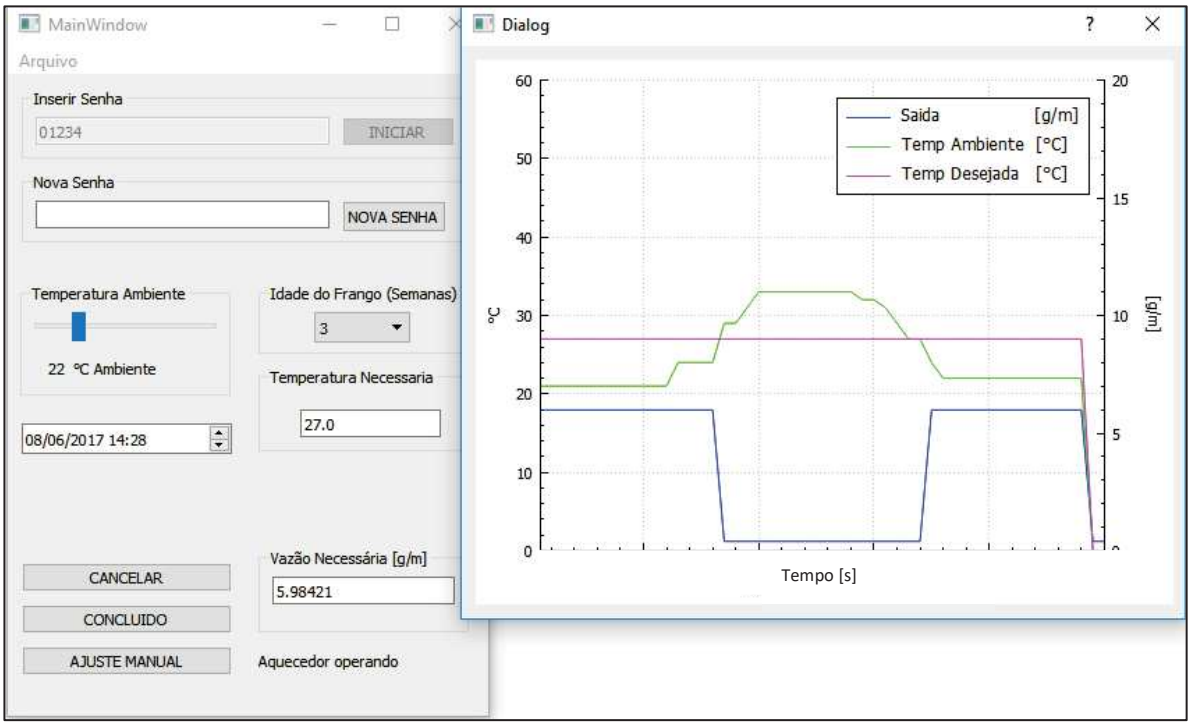

Figura 29. Interface gráfica completa.
Fonte: Autoria Própria.

Conforme apresentado na Figura 29, a programação permite que o sistema verifique se há a necessidade de manter o aquecedor operando de acordo com a temperatura ambiente. Em situações em que não há a necessidade do sistema de aquecimento, o programa fornece como saída à vazão necessária para que a campânula se mantenha apenas com uma chama piloto. Isto ocorre quando a temperatura desejada for menor que a temperatura ambiente, e o ativa automaticamente quando a temperatura ambiente for inferior.

Desta forma a chama piloto impede que a chama da campânula se apague e seja injetado gás na atmosfera do aviário.

6.6. IMPLANTAÇÃO DA RNA NA INTERFACE GRÁFICA

Com a interface gráfica finalizada foi construído o algoritmo para implantar a RNA treinada ao programa. O algoritmo foi elaborado em uma função independente para efetuar os cálculos propriamente ditos da RNA, sem depender do código fonte da interface gráfica. Foi empregado linguagem de programação *C* no

desenvolvimento do algoritmo para não haver incompatibilidade com a linguagem utilizada na interface.

A função de ativação dos neurônios da camada oculta receberá a entrada da RNA por parâmetro. Este valor é processado realizando o procedimento de propagação do sinal de entrada, sentido direto, pelas camadas subsequentes de neurônios, conforme ilustrado na Figura 30.

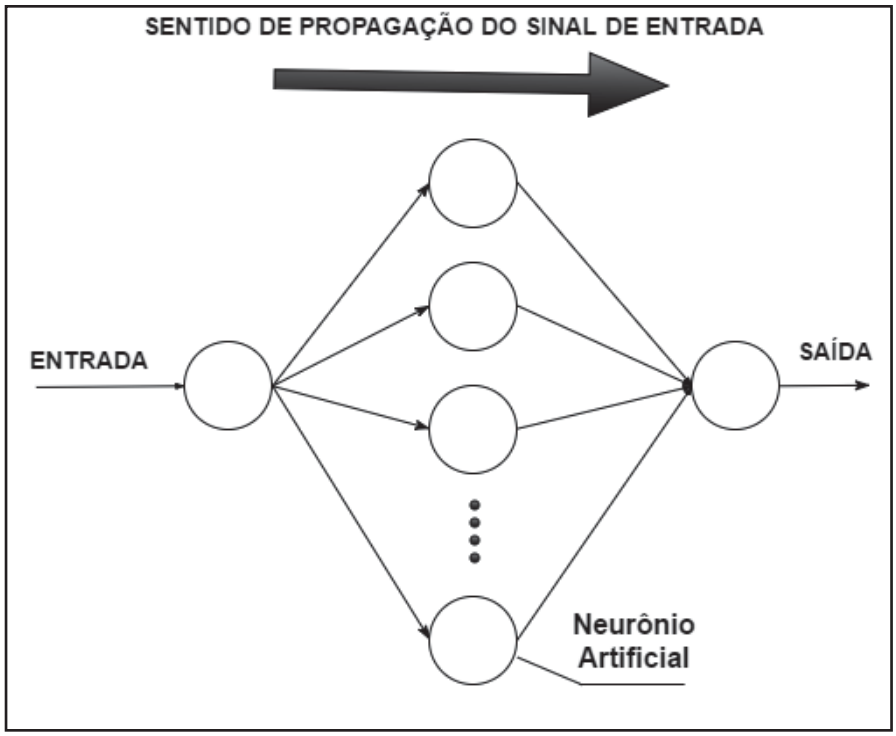

Figura 30. Sentido de propagação do sinal de entrada pela RNA multicamadas.
Fonte: Autoria Própria.

Este método de propagação (Figura 30) foi transcrito para o algoritmo conforme o diagrama de blocos ilustrado na Figura 31, possibilitando a inserção da RNA no programa.

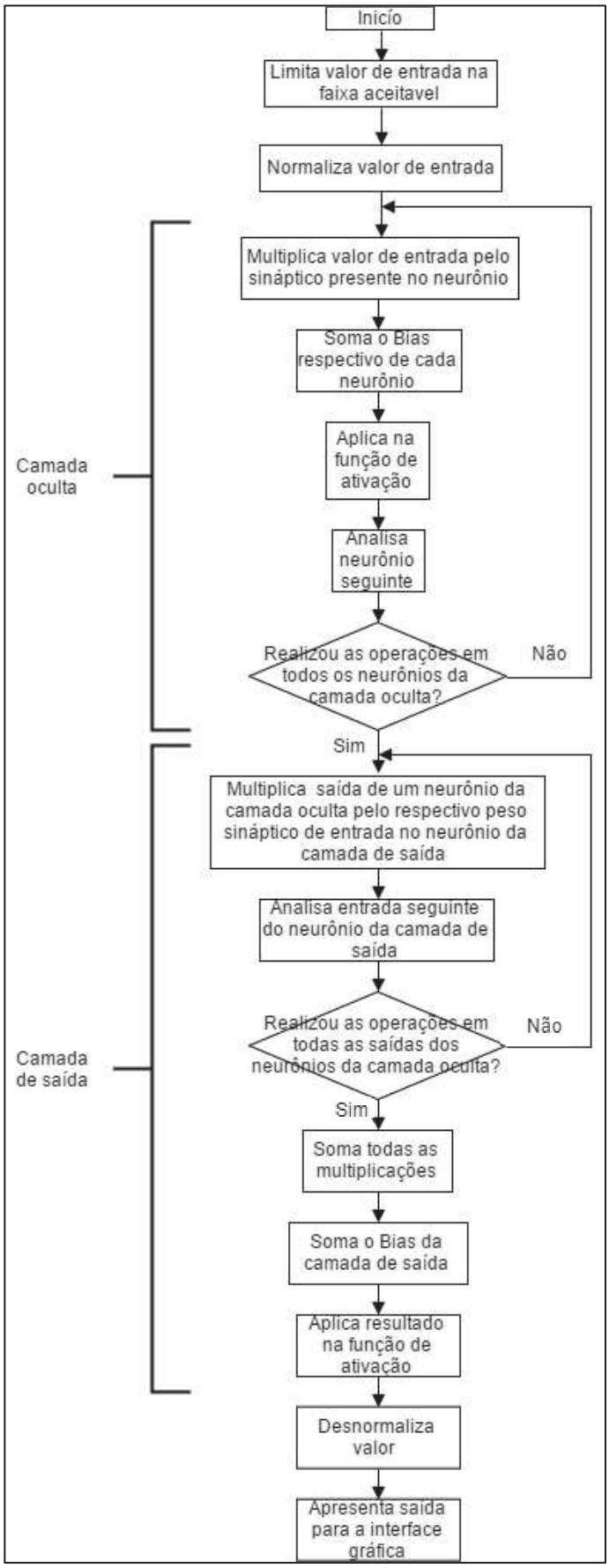

Figura 31. Diagrama de blocos para construção do algoritmo.
Fonte: Autoria Própria.

Devido ao fato dos valores de entrada utilizados para o treinamento da RNA (Tabela 3) estarem limitados entre [19,17; 31,22], o valor de entrada permitido na interface gráfica também teve que ser limitado ao mesmo intervalo. Isso ocorreu visto que os valores calculados pela RNA para entradas, fora do intervalo dos dados (utilizados em seu treinamento), não seriam baseados no comportamento conhecido da campânula, comprometendo a confiabilidade dos resultados gerados. Contudo, este limitante não afeta significativamente a funcionalidade do programa, visto que os valores mínimos de temperatura interesse para as aves (Tabela 1) é 20° C, afetando apenas os valores de temperatura máxima, os quais oscilam entre 32° e 35° C.

Como a entrada e saída da RNA são características físicas diferentes (temperatura e vazão), consequentemente possuem faixas de valores distintos. Foi necessário então, normalizar os valores tanto de entrada quanto de saída da RNA entre o intervalo [-1; 1], para não haver incompatibilidade com intervalos de abrangência. O método de normalização utilizou-se da Equação 5

$$V_n = 2 * \frac{V - V_{mi}}{V_{ma} - V_{mi}} - 1 \qquad \text{Eq. 5}$$

onde: V é o valor a ser normalizado, V_{mi} é o menor valor dentro da faixa de interesse, V_{ma} é o maior valor dentro desta mesma faixa. Realizando as operações corretamente se obtém o valor normalizado V_n. Para as operações pertinentes neste trabalho desejou-se normalizar os valores referentes à temperatura e vazão (entrada e saída respectivamente), utilizando os valores máximos e mínimos apresentados na Tabela 7, embasados nos dados coletados (Tabela 3).

Tabela 7. Intervalos dos valores de entrada e saída.

Grandeza	Máximo	Mínimo
Temperatura	31,22	19,17
Vazão	11,65	1,03

Fonte: Autoria Própria.

Com a RNA inserida na interface gráfica, os resultados obtidos com o programa desenvolvido foram coerentes com os dados resultante do treinamento

(Tabela 4), sendo que os valores calculados pela RNA são confrontados com os dados coletados e apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores calculados pela RNA presente na interface gráfica.

Temp. Desejada [°C]	Vazão Mensurada [g/min]	Vazão Calculada [g/min]	Erro
30,00	10,91	10,77	0,14
27,83	10,10	6,50	3,60
26,72	5,11	5,87	-0,76
29,67	7,55	10,01	-2,47
24,33	1,90	3,16	-1,26
23,28	1,88	2,01	-0,13
26,00	5,83	5,62	0,20
28,06	6,56	6,73	-0,17
31,22	11,65	11,63	0,01
21,39	2,26	2,19	0,07
24,33	4,17	3,16	1,01
27,00	6,29	5,98	0,31
28,67	8,89	7,62	1,27
19,17	1,03	1,03	0,00
27,67	6,92	6,24	0,67
29,11	8,57	8,56	0,01
29,33	9,00	9,12	-0,12
21,67	2,40	2,36	0,04

Fonte: Autoria Própria.

Ao analisar o comportamento dos dados gerados e mensurados, nota-se que após o processamento da RNA, a dispersão dos dados da vazão em função da temperatura foi reduzida, de modo a evidenciar o real comportamento da campânula estudada. Este fenômeno é visualizado na Figura 32.

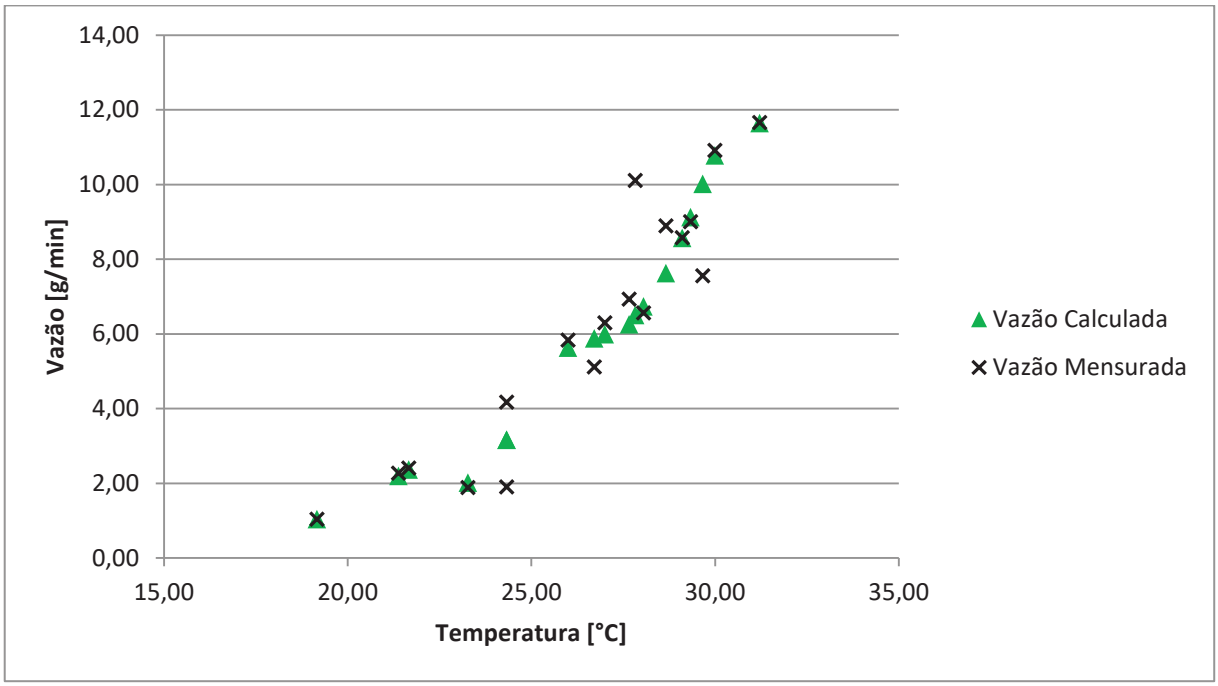

Figura 32. Comparativo do comportamento dos dados coletados e calculados.
Fonte: Autoria Própria.

Por meio dos pontos apresentados na Figura 32, foi possível caracterizar o comportamento dos dados por meio de curvas polinomiais de segunda ordem. Ao interpolar os pontos referentes aos dados mensurados diretamente no sistema, obtém-se o comportamento apresentado na Equação 6

$$Vazão_m = 0{,}0563 * t^2 - 1{,}9406 * t + 17{,}525 \qquad R_m^2 = 0{,}8909 \qquad \text{Eq. 6}$$

onde: $Vazão_m$ é a vazão mensurada em função da temperatura obtida t, e R_m^2 é o erro de aproximação da curva. Em seguida, a curva de tendência calculada para os dados calculados pela RNA esta na Equação 7

$$Vazão_c = 0{,}0726 * t^2 - 2{,}7733 * t + 27{,}825 \qquad R_c^2 = 0{,}9796 \qquad \text{Eq. 7}$$

Devido ao fato de $R_c^2 > R_m^2$ é possível determinar que, após o processamento dos dados pela RNA, a dispersão dos dados obtidos foi consideravelmente reduzida.

Neste contexto, nota-se que entre os valores apresentados na Tabela 8 os que possuem maior erro (dentre os calculados pela RNA e os medidos na planta), são os mesmo pontos discrepantes do comportamento térmico levantado. Esta tendência é evidenciada na Figura 33 no qual os pontos destacados em vermelho

são aqueles que apresentaram o maior erro, já os pontos em preto são aqueles que efetivamente caracterizam o comportamento da campânula, os quais afetam significativamente o treinamento da RNA. Desta maneira o erro indicado não representa um erro de convergência da rede, mas sim um possível erro de medida da amostra em relação ao comportamento real do sistema.

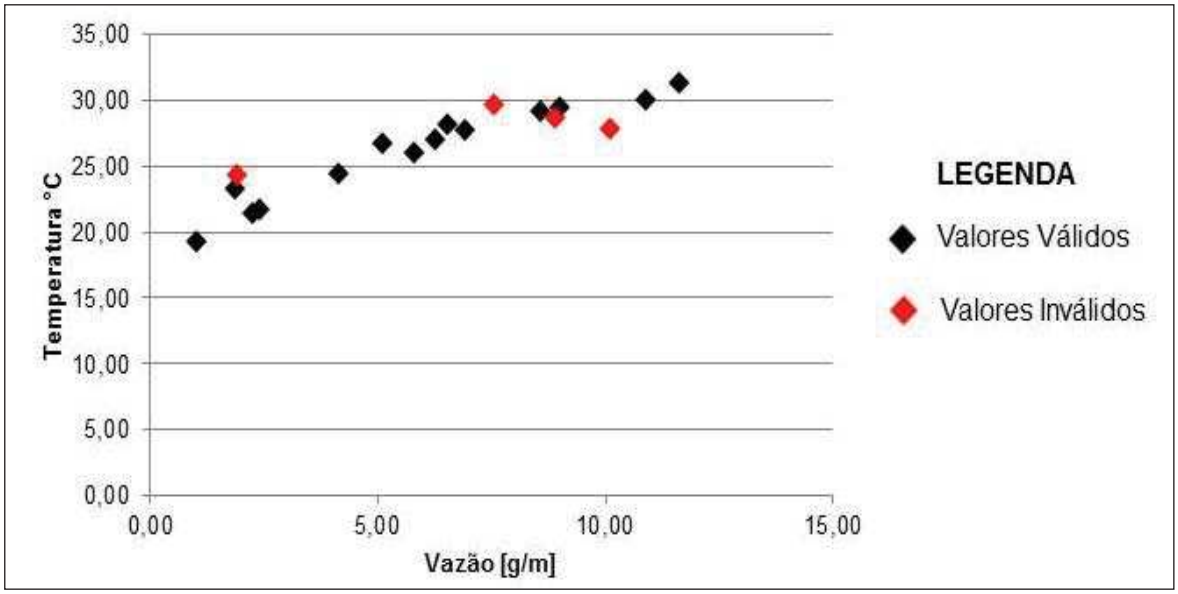

Figura 33. Pontos desconsiderados pela RNA.
Fonte: Autoria Própria.

Desta forma, temos que a RNA desconsidera em seu treinamento valores incoerentes com o comportamento geral do sistema estudado, sendo minimamente afetado por estes, viabilizando o seu emprego para reduzir os impactos de possíveis erros durante a aquisição de dados, como descrito por Kovàcs (2002).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste cápitulo serão apresentadas as considerações finais deste trabalho, sendo as conclusões obtidas com a pesquisa e as propostas de futuros trabalhos neste seguimento de pesquisa.

7.1. CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou que a Inteligência Artificial possui valiosos recursos para sistemas de aquisição de dados. O próprio treinamento da RNA identifica e inibe impactos de possíveis erros de medida e anomalias nos dados, e também, na modelagem de sistemas reais, sendo que o comportamento do sistema implica diretamente no resultado final da produção.

Além disso, o estudo permitiu observar que avicultura apresenta diversas atividades automatizadas, para muitas das quais é possível embarcar Inteligência Artificial a fim de aprimorar o processo produtivo. Este fato se dá principalmente pela busca de evitar a presença humana no ambiente de produção, de modo a reduzir os potenciais de contaminação e o estresse das aves, fatores que interferem diretamente nos custos e na qualidade do produto final.

7.2. TRABALHOS FUTUROS

Para posteriores trabalhos inerentes a esta linha de pesquisa, é proposto aperfeiçoar o sistema de aquisição de dados utilizados para o treinamento da RNA, desenvolver um sistema que possua uma maior repetitividade dos dados coletados e consiga mensurar um intervalo maior de valores, para assim aprimorar os resultados obtidos pela RNA.

Além disso, utilizando a interface gráfica desenvolvida neste trabalho com pequenas modificações, pode-se desenvolver um programa que considere outras variáveis referentes ao aviário, tais como umidade relativa do ar, sistema de exaustão, entre outros. Desta forma os recursos calculados pela RNA serão

embasados nos diversos sistemas de controle presente no aviário, não apenas o de aquecimento.

Devido ao fato deste trabalho ter sido elaborado em um ambiente controlado, seria possível desenvolver um trabalho que empregasse fisicamente o programa desenvolvido, de tal modo que o resultado obtido pela RNA seja a referência do sistema de controle de vazão de uma campânula, atuando como preditivo da planta de controle.

Ainda neste contexto, outro possível trabalho seria uma análise econômica quantitativa da rentabilidade deste projeto, a qual analisaria o retorno financeiro da implementação deste trabalho, considerando todos os recursos empregados no processo de produção.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA. **Sociedade Brasileira de Proteína Animal.** 2014. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br> Acesso dia 15 Setembro de 2016.

ABPA. **Sociedade Brasileira de Proteína Animal.** 2015. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura> Acesso dia 15 de Setembro de 2016.

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. **Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil**. Revista Brasileira de Zootecnia. v. 40. p 1-14, **2011**.

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. **Conforto Térmico para Aves**, Embrapa Suínos e Aves - Comunicado Técnico (INFOTECA-E). p 55. **2004**.

ABREU, P. G. **Modelos de Aquecimento**. IV SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA. Chapecó, SC – Brasil. **2003.** p 65-77.

ANP. **Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.** 2016. Disponível em <http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/2441-anuario-estatistico-2016> Acesso dia 23 de Março de 2017.

BIG DUTCHMAN. **Comércio de Equipamentos para aviários e agronegócios.** Disponível em: <http://bigdutchman.com.br/produtos/sobre/criadeira-top-2000/8>.

CIAS. **Centro de inteligência de aves e suínos**. EMBRAPA Suínos e Aves. 2016. Disponível em <http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/index.php?option=com_content&view=article&id=13> Acesso dia 10 de Dezembro de 2015.

CATELAN, F. **Sistemas de Aquecimento Automáticos na Produção de Frango de Corte**, UNIOESTE, Centro de Ciências Extas e Tecnológica, **2007.**

COBB. **Manual de Manejo de Frangos de Corte.** 2008. Disponível em <http://wp.ufpel.edu.br/avicultura/files/2012/04/Cobb-Manual-Frango-Corte-BR.pdf>.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento**. 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_07_15_09_15_46_frango_pr_2012.pdf>. Acesso dia 28 de Setembro de 2016.

EMBRAPA, **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/brasil>. Acesso dia 28 de Setembro de 2017.

FAEP. **Federação da Agricultura do Estado do Paraná,** 2014**.** Disponível em <http://www.sistemafaep.org.br/wp-ontent/uploads/2014/07/Frango_Custo_Ubirat%C3%A3_Maio_2014.pdf>. Acesso dia 26 de dezembro de 2016.

FONSECA, J. S., MARTINS G. A., **Curso de Estatística,** 6ª Edição, Editora Atlas S.A., São Paulo, **2012.**

GARCIA, L. A. F., **Caracterização Socioeconômica de Produtores de Frango de Corte no Brasil: Um Estudo Comparativo Entre Regiões Brasileiras,** Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Cascavel – PR, 2014.

HAYKIN, S. **Redes Neurais. Princípios e prática.** 2ed. Porto Alegre. Editora bookman. 2001. 900 p.

KOVÁCS, Zsolt L. **Redes neurais artificiais: Fundamentos e Aplicações**. 4ed. São Paulo. Editora Livraria da Física. 2002.

MCROBERTS, M., **Arduino Básico**, Novatec Editora Ltda., São Paulo, 2011.

MATUCHAKI, G. **Projeto de um Sistema de Climatização de Aviário**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MAPA, **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Aves**. 2013. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/aves> Acesso dia 22 de Set. de 2016.

MARTINAZZO, C. A., ORLANDO, T., **Comparação Entre Três Tipos de Sensores de Temperatura em Associação com Arduino.** Perspectiva, Erechim, V. 40, n. 151, p. 93-104, **2016.**

NASCIMENTO, C. L. **Inteligência Artificial em Controle e Automação.** Editora Edgard Blucher LTDA. 2011. 218 p.

SIMEPAR, **Serviço Meteorológico do Paraná,** Disponível em: < http://www.simepar.br/site/palavra_lista.shtml>. Acesso dia 29 de Set. de 2017.

QUINQUIOLO, P. F., KOLLING, E. M., **Lev. Análise e Difusão de Informações Sobre a Produção e Exploração Energética de Biodigestores em Toledo-PR**. 5° Seminário de Extensão e inovação da UTFPR – Campo Mourão. 2015.

ZAMBIASI, S. P. **Introdução as Redes Neurais Artificiais,** Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC**,** Florianópolis, 2002. Disponível em: <http://www.gsigma.ufsc.br/~popov/aulas/ia/modulo9.pdf>. Acesso dia 05 de outubro de 2016.