

## Controle, Supervisão e Tomada de Decisão em Processos Avícolas

Lucas Schmidt (UTFPR) [schmidt.luc@gmail.com](mailto:schmidt.luc@gmail.com)  
Mainara Cristina Lorencena (UTFPR) [mainaralorencena@gmail.com](mailto:mainaralorencena@gmail.com)  
Marcelo Teixeira (UTFPR) [marceloteixeira@utfpr.edu.br](mailto:marceloteixeira@utfpr.edu.br)  
Dalcimar Casanova (UTFPR) [casanova@utfpr.edu.br](mailto:casanova@utfpr.edu.br)  
Richardson Ribeiro (UTFPR) [richardsonr@utfpr.edu.br](mailto:richardsonr@utfpr.edu.br)

### Resumo:

Para o sucesso da produção de frangos de corte, é fundamental um controle adequado de temperatura e umidade no interior do aviário, uma vez que o conforto térmico define a relação entre o consumo de ração e a produção de carne. Os métodos atuais de controle, embora semiautomáticos, dependem da percepção e da intervenção do especialista humano, o que tende a ser ineficiente e propenso a erros. Este artigo propõe uma abordagem híbrida para o controle, a supervisão e o suporte a tomada de decisões no manejo avícola, que integra duas alternativas propostas na literatura. A primeira é baseada em controle reativo, capaz de observar o conjunto de eventos do sistema e orquestrar os atuadores de maneira adequada. A segunda utiliza um modelo de aprendizagem de máquina que, através de uma rede neural artificial, absorve a percepção do especialista. Para a integração das duas abordagens é usado um sistema SCADA e o resultado é sintetizado por uma interface web que fornece ao operador três opções de controle: lógico, inteligente e híbrido.

**Palavras chave:** Manejo avícola, Controle Supervisório, Inteligência Artificial, Automação.

## Control, Supervision and Decision Making in Poultry Processes

### Abstract:

For the production of broilers to be successful, the appropriate control of temperature and humidity inside the aviary is essential, since the thermal comfort defines the relation between the feed consumption and the meat production. Current methods for control, while semiautomatic, depend on the perception and intervention of the human expert, which tends to be inefficient and error prone. This paper proposes a hybrid approach to the control, supervision and decision support in poultry management, which integrates two alternatives proposed in the literature. The first is based on reactive control, which observes the set of events of a system and orchestrates the actuators properly. The second uses a machine learning model that, through an artificial neural network, absorbs the expert's perception. For the integration of the two approaches is used a SCADA system and the result is summarized by a web interface that provides the operator with three control options: logical, intelligent and hybrid.

**Key-words:** Poultry management, Supervisory Control, Artificial Intelligence, Automation.

### 1. Introdução

A avicultura evoluiu consideravelmente nas últimas décadas e vem aumentando, a cada ano, sua participação na produção de proteína de origem animal e assumindo papel de grande importância socioeconômica para o Brasil (DE SOUZA et al., 2010). No ano de 2015 foram produzidos 13,14 milhões de toneladas de carne de frango, e obtida uma receita de mais de 7 bilhões de dólares em exportações. Com esse desempenho, o Brasil assume a segunda posição no ranking dos maiores produtores de carne de frango do mundo, atrás apenas dos EUA (ABPA, 2016). Para consolidar essa posição e aumentar ainda mais o volume das exportações é necessário adequar as práticas de criação e manejo, objetivando atender as exigências relativas ao bem-estar animal e a qualidade da carne por parte do mercado externo, bem como tornar o processo produtivo mais eficiente (DE SOUZA et al., 2010).

No processo de manejo avícola, o controle adequado de temperatura e umidade é fundamental

para o sucesso no desenvolvimento das aves (DE OLIVEIRA et al., 2006). Porém, os métodos atuais de controle, comumente utilizados nos aviários brasileiros, não apresentam a eficiência desejável, que se caracteriza pela manutenção da temperatura e da umidade, além da máxima homogeneização desses parâmetros ao longo do ambiente. Pelo contrário, observa-se que mesmo na presença de sistemas semiautomáticos, as principais decisões durante o processo são tomadas diretamente pelo avicultor, com base em sua experiência e percepção (LORENCENA et al., 2017). Essa alternativa é propensa a erros, além de exigir a presença constante do avicultor no aviário.

Projetar a melhoria do processo, requer caracterizá-lo quanto a sua dinâmica operacional. Na indústria, de modo geral, a maioria dos processos, incluindo o manejo avícola, possuem uma dinâmica dirigida por eventos, o que define uma classe de processos denominados Sistemas a Eventos Discretos (SEDs). Os SEDs compartilham de um comportamento definido por um conjunto enumerável de estados tal que a evolução entre esses estados depende de sinais esporádicos, assíncronos e independentes no tempo, denominados eventos.

Uma alternativa para a síntese de controladores para SEDs é dada pela Teoria de Controle Supervisório (TCS), que permite descrever o comportamento de um SED e suas especificações por meio de modelos chamados autômatos (CURY, 2001). Então, operações matemáticas são processadas sobre esses autômatos e o resultado é uma lógica para o controle ótimo, ou seja, capaz de supervisionar o sistema e interferir no seu comportamento de maneira minimamente restritiva, não bloqueante e de acordo com um conjunto de requisitos (CURY, 2001).

LORENCENA et al. (2017) propõem uma abordagem baseada na TCS para controlar a ambiência em processos avícolas, atenuando a dependência de conhecimento do avicultor bem como sua presença no aviário. São apresentadas as etapas de modelagem, síntese e implementação de um controlador que observa um conjunto de eventos do sistema e orquestra os atuadores da maneira ótima. Embora esse modelo de controle traga vantagens em relação ao estado da arte, o controlador obtido é essencialmente reativo. Essa inflexibilidade não elimina a necessidade de contar com a experiência do especialista humano para parametrizar os planos de manejo no controlador.

Por outro lado, outras abordagens recentemente propostas na literatura, dão conta de que modelos de otimização e suporte à tomada de decisões podem ser úteis ao manejo avícola. É o caso, por exemplo, do modelo proposto por RIBEIRO et al. (2016), que utiliza um método de aprendizagem através de regressão linear por meio de uma rede neural artificial para a geração de planos de ação no processo de tomada de decisão, levando em conta o bem-estar das aves e a produtividade em termos de fatores econômicos. No entanto, modelos de otimização, em geral, não emergem nativamente integrados à prática do processo. De fato, tratam-se de abordagens offline que necessitam de uma camada adicional de integração à prática do processo.

Nesse contexto, este artigo propõe estender o framework de controle e monitoramento de processos avícolas, proposto por LORENCENA et al. (2017), incorporando a abordagem de tomada de decisões proposta por RIBEIRO et al. (2016). Como resultado, deriva-se um sistema integrado de controle, supervisão e suporte a tomada de decisões no manejo avícola. A abordagem lê um conjunto de parâmetros do sistema e toma as decisões reativas baseadas na TCS. Uma segunda metodologia operacional também é provida, a qual sugere uma ação inteligente de controle. Por fim, uma terceira forma operacional é apresentada, a qual confronta as ações reativas com a percepção do especialista, atenuando possíveis inconsistências.

## 2. Estratégias de controle para o manejo avícola

Um ambiente uniforme em termos de temperatura e umidade é fundamental para o desenvolvimento pleno das aves (FURLAN, 2006)(CASSUCE, 2011). Esses parâmetros são

regulados por uma série de equipamentos, responsáveis por aquecer, resfriar, umidificar ou desumidificar o ambiente do aviário de maneira homogênea, a fim de garantir o conforto térmico das aves para a obtenção da melhor taxa de conversão alimentar<sup>1</sup> possível.

Esta pesquisa pretende explorar uma arquitetura de aviários com ventilação transversal (BACHARA, 2011). Essa arquitetura já foi analisada, sob a ótica de controle em pesquisas anteriores (LORENCENA et al., 2016)(LORENCENA et al., 2017). Esta configuração permite uma melhor homogeneização, além de prover informações mais detalhadas, vista a característica setorizada da abordagem. A Figura 1 ilustra a estrutura abordada.

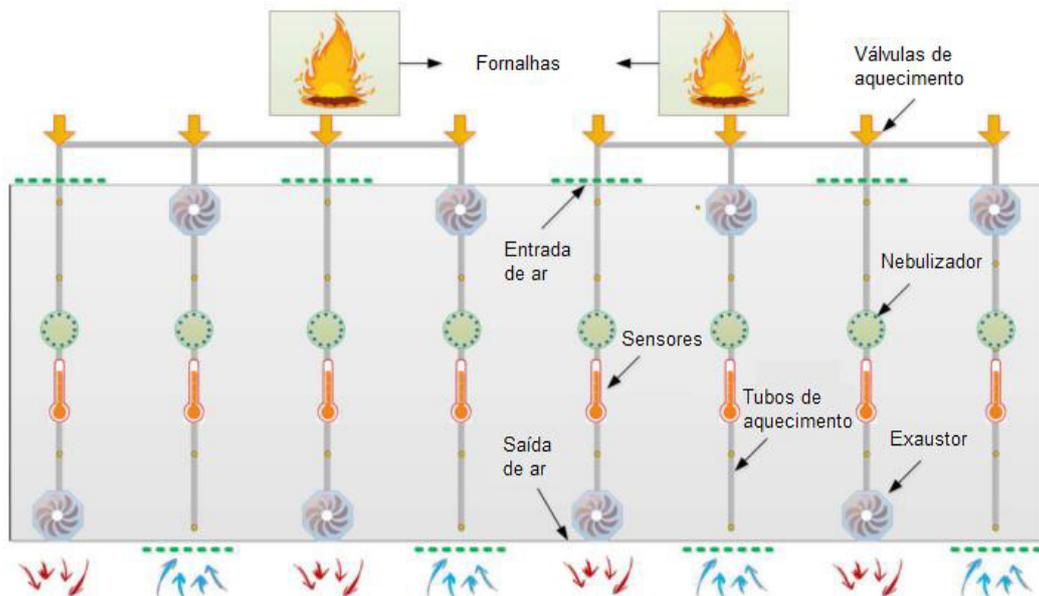


Figura 1 - Arquitetura do aviário.

Esta arquitetura é baseada em uma relação lateral entre as entradas de ar, o sistema de exaustão, de nebulização, a rede de sensores e, ainda, o tubo de condução de calor. Assim, o sistema de controle passa a ser setorizado conforme o fluxo transversal de ar. Assume-se que cada setor de ventilação recebe um exaustor, uma entrada de ar, um nebulizador, um ponto de aquisição de dados (sensores) e um aquecedor local. O aquecimento de um setor se dá por meio da abertura de uma válvula que permite a entrada de ar quente no tubo condutor de calor correspondente.

## 2.1 Controle através da Teoria de Controle Supervisório

O trabalho desenvolvido por LORENCENA et al. (2017), mostra como a TCS pode modelar o processo de manejo avícola, no que tange o controle de ambiência, a fim de garantir formalmente o controle ótimo.

Inicialmente é feita a modelagem da planta, obtendo um modelo para cada um dos elementos que compõem o aviário e contribuem para a manutenção da temperatura, umidade e renovação do ar. Em seguida são modeladas as especificações de controle. Finalmente, através da composição síncrona do modelo da planta e do modelo das especificações é obtida a solução ótima de controle para o processo. Para a realização da composição síncrona, em todas as etapas foi utilizada a ferramenta Supremica (AKESSON et al., 2014) (LORENCENA et al., 2017). Os modelos são obtidos considerando apenas uma faixa de ventilação lateral, podendo ser replicados para qualquer quantidade de faixas sem perder a generalidade.

<sup>1</sup> Relação entre a quantidade de ração consumida e o peso médio das aves.

### 2.1.1 Modelo da planta

O modelo da planta  $G$  representa o funcionamento do sistema em malha aberta. LORENCENA et al. (2017) considera para o modelo da planta do aviário os seguintes atuadores: exaustor; nebulizador; cortina; e aquecedor, conforme mostrados na Figura 2.

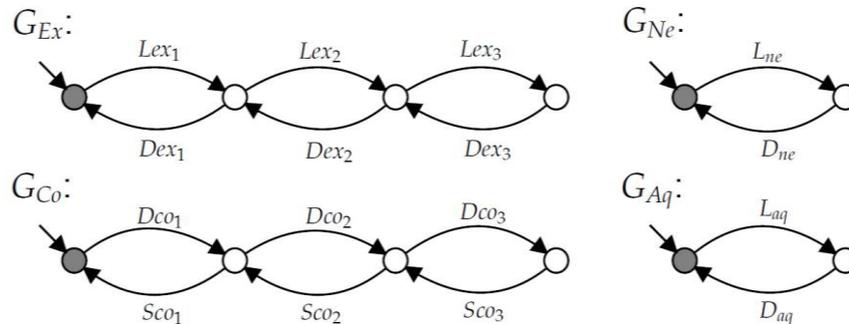


Figura 2 - Modelos dos atuadores.

As principais grandezas a serem consideradas para o controle do manejo avícola são a temperatura e a umidade. Para compor a planta do sistema foram modelados ainda dois sensores para essas grandezas, conforme mostrados na Figura 3.

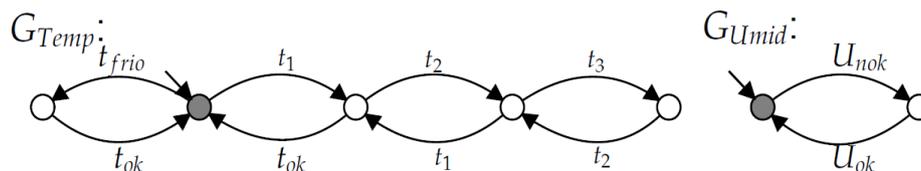


Figura 3 - Modelos dos sensores.

Tendo obtido o modelo individual de cada componente do sistema, esses foram compostos entre si a fim de formar a planta  $G$ :

$$G = G_{Ex} \parallel G_{Ne} \parallel G_{Co} \parallel G_{Aq} \parallel G_{Temp} \parallel G_{Umid}$$

em que  $G$  corresponde a um autômato com 640 estados e 4864 transições.

### 2.1.2 Modelo das especificações

Especificações são, basicamente, ações proibitivas sobre a planta  $G$ . Tais especificações podem ser modeladas também através de autômatos que, quando combinados com a planta  $G$  através de composição síncrona, produzem uma versão do sistema em que as situações indesejadas previstas são evitadas.

LORENCENA et al. (2017) desenvolve 15 especificações para o controle dos atuadores do aviário. Os modelos para as especificações dos exaustores são apresentados na Figura 4.

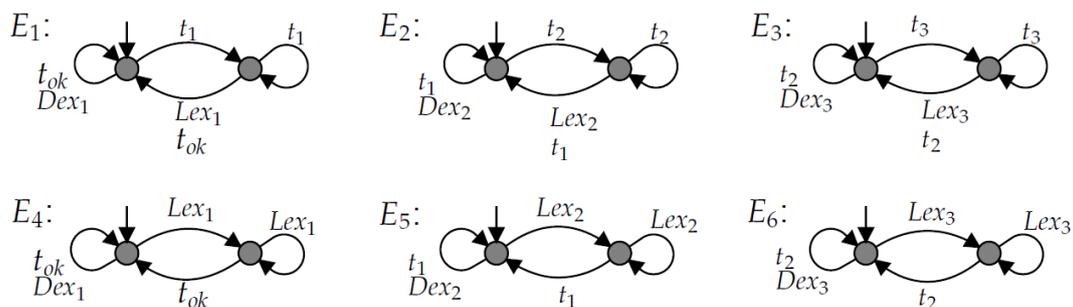


Figura 4 - Modelos para as especificações do exaustor.

Para a operação do nebulizador são previstas duas especificações, apresentadas na Figura 5.

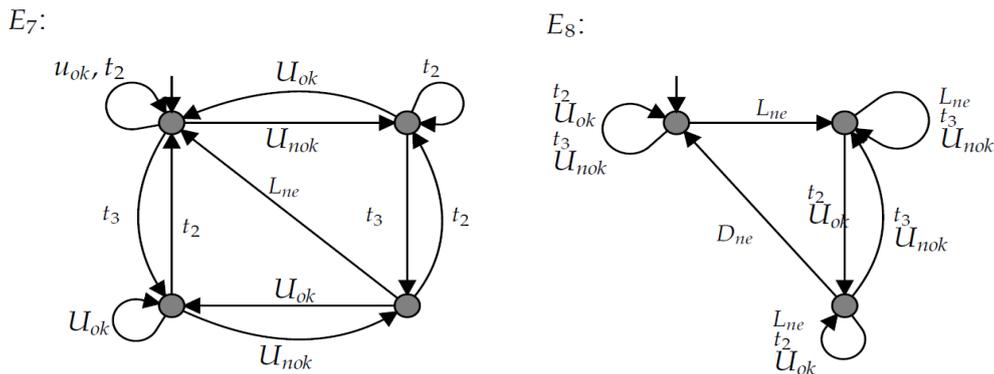


Figura 5 - Modelos para as especificações do nebulizador.

Com relação a abertura e ao fechamento da cortina, são previstas 6 especificações, modeladas pelos autômatos da Figura 6.

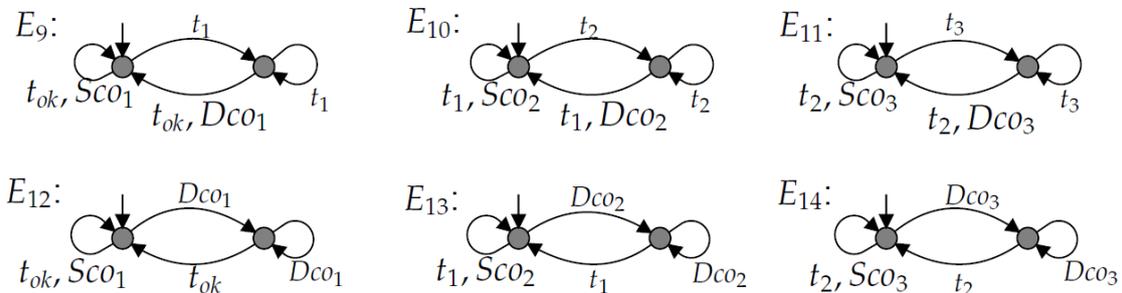


Figura 6 - Modelos para as especificações da cortina.

Finalmente, é modelada ainda uma especificação para controlar o sistema de aquecimento, a qual é mostrada na Figura 7.

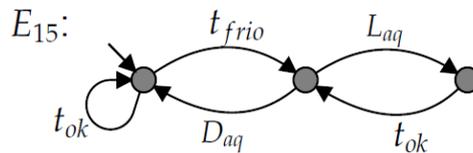


Figura 7 - Modelo para a especificação do aquecedor.

O modelo da especificação  $E$  é obtido através da composição síncrona entre todas as especificações estabelecidas para o sistema:

$$E = \parallel_{i=1}^{15} E^i,$$

em que  $E$  é um autômato com 28500 estados e 304500 transições. Ao se associar o modelo  $E$  das especificações, com o modelo  $G$  da planta, obtém-se o comportamento do sistema em malha fechada, ou seja, o comportamento que se espera do sistema sob controle. Essa composição é denotada por  $K = G \parallel E$  e, nesse caso em particular, corresponde a um autômato com 30697 estado e 119358 transições, o qual pode ser usado para a geração de código para posterior implementação física em controladores específicos.

## 2.2 Aprendizagem de máquina aplicada ao manejo avícola

Abordagens recentemente propostas na literatura, dão conta de que técnicas de aprendizagem de máquina podem trazer diversas vantagens ao manejo avícola. Nessa pesquisa será explorado o modelo proposto por RIBEIRO et al. (2016), que utiliza um modelo de aprendizagem através

de regressão linear por meio de uma rede neural artificial para a geração de planos de ação no processo de tomada de decisão.

A RNA proposta por RIBEIRO et al. (2016) é baseada em dados reais, coletados a partir de sensoriamento de temperatura, umidade, condições climáticas e ventilação. A estrutura operacional do aviário em questão é do tipo dark house, ou seja, com luminosidade controlada artificialmente, possui um comprimento total de 150 metros e uma largura de 16 metros, com capacidade para 29 mil aves.

### 2.2.1 Aquisição de dados e pré-processamento

O aviário do qual foram extraídos os dados possui um desempenho considerado de excelência, visto o histórico de produção. Nos últimos 6 anos, a produção anual foi de 333 mil frangos, com uma taxa de conversão alimentar média de 1389 ( $\pm 2,1\%$ ), um peso médio das aves de 1541 gramas ( $\pm 2,6\%$ ) e um tempo estimado de vida de 28 dias (COBB, 2012). Os dados foram coletados utilizando uma rede de sensores gerenciada por um microcontrolador. Conforme RIBEIRO et al. (2016), a interação entre os componentes do processo se dá como na Figura 8.

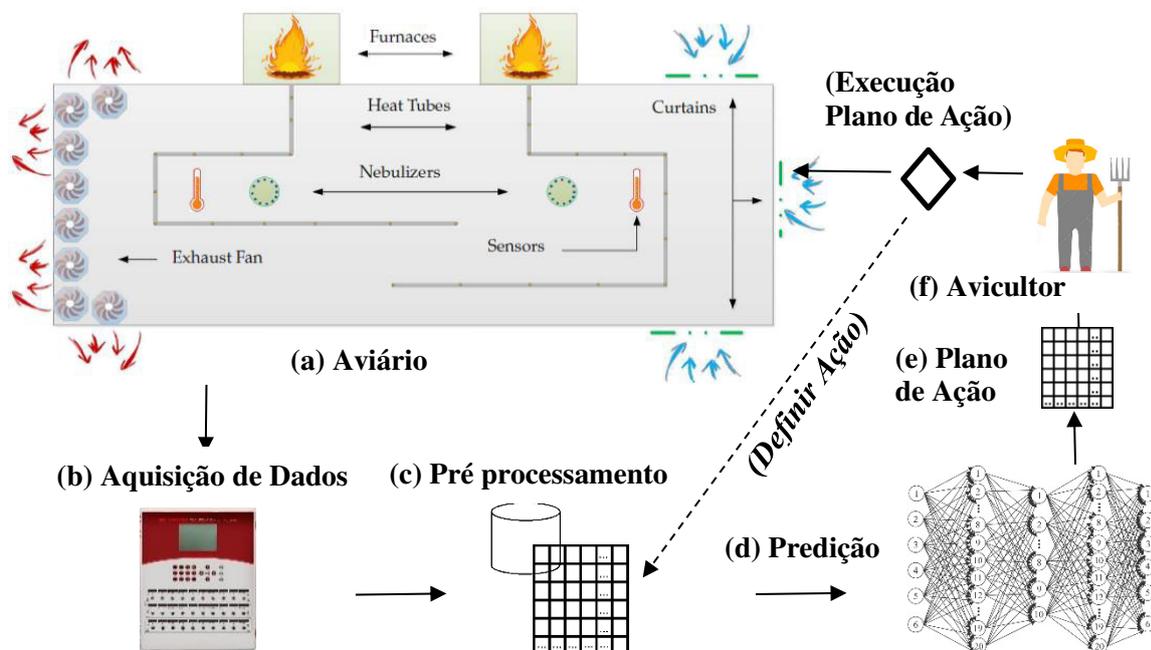


Figura 8 - Etapas de integração do processo avícola com o modelo de aprendizagem.

A Figura 8a apresenta o aviário, a Figura 8b ilustra o sistema eletrônico de aquisição de dados, que é composto por uma rede de sensores que coleta dados acerca da temperatura, umidade, ventilação, condições climáticas, peso das aves e o consumo de água e ração. A Figura 8c representa a etapa de pré-processamento dos dados, que foram divididos em dois conjuntos: treinamento e teste, conforme a técnica de validação cruzada (KOHAVI, 1995). Por se tratar de um ambiente estático a etapa de validação cruzada foi realizada uma única vez, sendo assim, também o modelo foi treinado uma única vez. Foram processadas 3360 instâncias, com leituras horárias. Foram eliminados dados ruidosos, e colhidos dados complementares, como por exemplo, o clima externo do aviário, obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), além de referências bibliográficas (COBB, 2012). A Figura 8d ilustra os valores esperados, obtidos através da RNA. A Figura 8e representa o plano de ação sugerido, que será analisado pelo avicultor (Figura 8f). O plano de ação pode ser executado, ou ajustado e enviado para o pré-processamento, a fim de refinar os dados e melhorar o modelo da RNA.

### 2.2.2 Percepção do avicultor e sensoriamento – dados de entrada

O conjunto de dados de entrada expressa a percepção do avicultor, contemplando: hora, dias de vida, condição climática externa do aviário, tamanho da área reservada às aves, temperatura interna do aviário e temperatura desejada.

O atributo Hora corresponde ao momento em que os dados foram obtidos, e tem relação direta com a temperatura interna do aviário, podendo assumir valor {1, ..., 24}. Dias de vida indica a idade dos frangos em dias, e é utilizada para estimar a temperatura mínima e máxima desejada, com valor {1, ..., 28}. A Condição climática externa do aviário é usada para interferir na temperatura e umidade interna e na renovação de ar. Os valores possíveis para esse atributo são {1, ..., 9} sendo: 1- Sol, 2- Céu sem nuvens, 3- Nuvens dispersas, 4- Nublado, 5- Trovoadas, 6- Chuva fraca, 7- Chuvoso, 8- Neblina, 9- Névoa. O atributo Tamanho da área reservada às aves corresponde ao comprimento liberado para a movimentação das aves, em metros, no sentido longitudinal do aviário, admitindo valores {60, ..., 150}. Temperatura interna do aviário é utilizado para ajustar o parâmetro Temperatura desejada (RIBEIRO et al., 2016).

### 2.2.3 Plano de ação – dados de saída

Os dados de saída correspondem as ações tomadas pelo avicultor, e são definidas por: Temperatura máxima, Temperatura mínima, Aquecer a partir de, Aquecer até, Tempo de ventilação em segundos, Quantidade de exaustores. A Tabela 1 apresenta os valores utilizados pelo especialista humano no sistema de controle, ou seja, o plano de ação baseado no conjunto de dados de entrada.

Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Aquecer a partir de (°C)	Aquecer até (°C)	Tempo de ventilação em segundos	Quantidade de exaustores
34	28	29	31	140	1
33	27	28	30	130	1
2	26	27	29	130	1

Tabela 1 - Conjunto de dados representando a atuação do avicultor (plano de ação).

A temperatura máxima e mínima tem influência no conforto térmico das aves. Temperaturas fora dos limites indicados afetam a taxa de conversão alimentar, prejudicando a saúde dos frangos. Os atributos Aquecer a partir de e Aquecer até são utilizados para manter o aquecimento do aviário. O tempo de ventilação e a quantidade de exaustores ligados garantem a sensação térmica ideal para as aves, além de promover a renovação de ar.

Os domínios dos atributos de saída são: Temperatura máxima {25, ...,35}, Temperatura mínima {23, ...,36}, Aquecer a partir de {25, ...,31}, Aquecer até {25, ...,31}, Tempo de ventilação em segundos {64, ...,3140}, Quantidade de exaustores {0, ...,9}.

A Tabela 2 apresenta um exemplo real de manejo realizado por um avicultor, mostrando como os dados de entrada e saída podem ser utilizados.

Dados de entrada		Dados de saída (Plano de Ação)	
Hora	13h	Temperatura máxima (°C)	34
Condição climática externa do aviário	1	Temperatura mínima (°C)	28
Tamanho da área reservada às aves	60	Aquecer a partir de (°C)	29
Temperatura interna do aviário (°C)	30	Aquecer até (°C)	31
Temperatura desejada (°C)	31	Tempo de ventilação em segundos	140
Dias de vida	7	Quantidade de exaustores	2

Tabela 2 - Exemplo real de manejo, dados de entrada e plano de ação.

Para a sugestão de planos de ação para o manejo avícola, RIBEIRO et al. (2016) propõe uma rede neural artificial que será apresentada na seção seguinte.

### 2.2.4 Rede neural artificial

Os conjuntos de dados de entrada e de saída foram utilizados para o treinamento e validação da RNA, divididos conforme as técnicas de validação cruzada (KOHAVI, 1995). Os conjuntos de treinamento e de teste são mutuamente exclusivos, e para esta abordagem foram divididos na proporção padrão de 70% para treinamento e 30% para validação (BISHOP, 1995).

A RNA implementada por RIBEIRO et al. (2016) é do tipo multicamadas e treinada com o algoritmo backpropagation. Possui 3 camadas ocultas, com 20, 10 e 20 neurônios respectivamente, usando a função de transferência sigmoide. A camada de entrada possui 6 neurônios, uma para cada parâmetro de entrada. A camada de saída também possui 6 neurônios, um para cada atributo do plano de ação. Esta estruturação foi definida com base em testes empíricos, optando pela configuração das camadas ocultas que potencializaram os resultados finais, melhorando a generalização da RNA.

A Figura 9 apresenta a arquitetura da RNA utilizada (RIBEIRO et al., 2016).

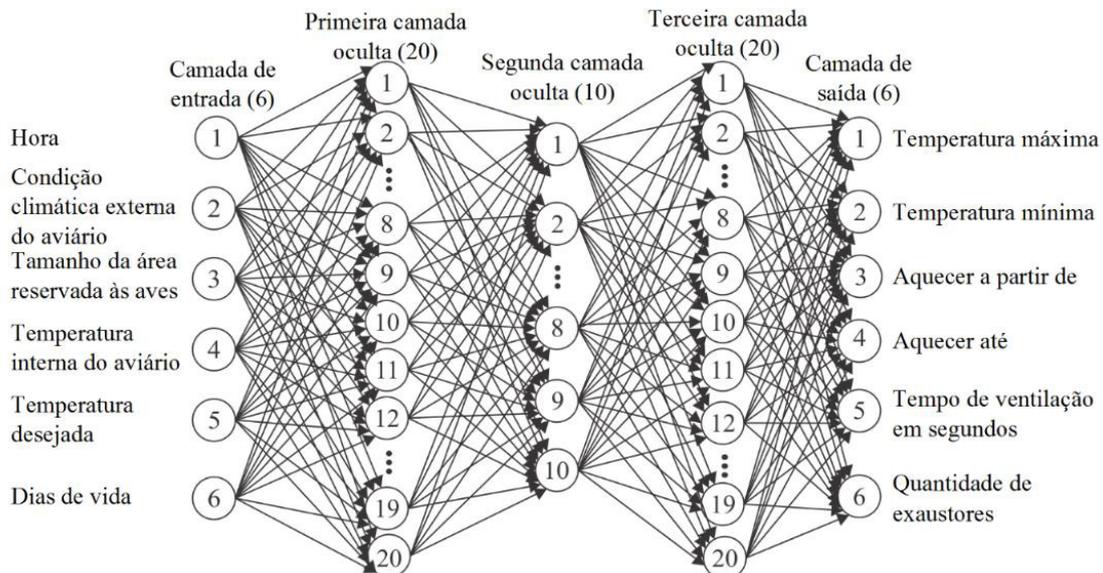


Figura 9 - Modelo da RNA utilizada no trabalho.

A RNA foi treinada até o ciclo (época) 500, quando a taxa de erro começou a se estabilizar no conjunto de validação.

RIBEIRO et al. (2016) relata o teste com três variações do algoritmo backpropagation, e observa que com modelo Bayesian Regularization obteve-se os melhores resultados em termos de peso médio dos frangos e taxa de conversão alimentar. Precisamente, para o modelo Bayesian Regularization, a melhora no índice de conversão alimentar foi de 0,26% e o peso médio de frangos de corte foi expandido em 0,31%, ambos em comparação com a linha de base da literatura. O avicultor obteve -2,34% e -1,85%, respectivamente, para as mesmas experiências, também em comparação com a referência.

### 3. Método de integração e implementação em software

Na abordagem de LORENCENA et al. (2017) são considerados para o modelo do aviário os exaustores, nebulizadores, cortinas, aquecedores e sensores de temperatura e umidade. Já na RNA proposta por RIBEIRO et al. (2016) são considerados para a geração do plano de ação dados provenientes de sensores e características do processo informadas pelo avicultor.

A fim de equalizar os resultados das duas abordagens, este artigo inicialmente reimplementa os modelos obtidos por LORENCENA et al. (2017) e a RNA proposta por RIBEIRO et al. (2016), reproduzindo proporcionalmente os resultados anteriores. Dessa forma, passa-se a considerar na sequência os resultados providos pela nossa versão da implementação, que define as mesmas variáveis de entrada e de saída para o processo avícola em ambas as abordagens.

Vencidas as etapas de modelagem da planta e do conjunto de especificações que estendem LORENCENA et al. (2017), foi obtida a nova versão do controlador reativo. Equivalentemente, os resultados de RIBEIRO et al. (2016) foram reproduzidos para a nova configuração de variáveis de entrada e saída. Por fim, foi implementada uma lógica de integração que confronta as políticas de ação sugerida por ambas as abordagens, inteligente e reativa, e estabelece um limiar que absorve possíveis flutuações. A Figura 10 ilustra o procedimento de integração.

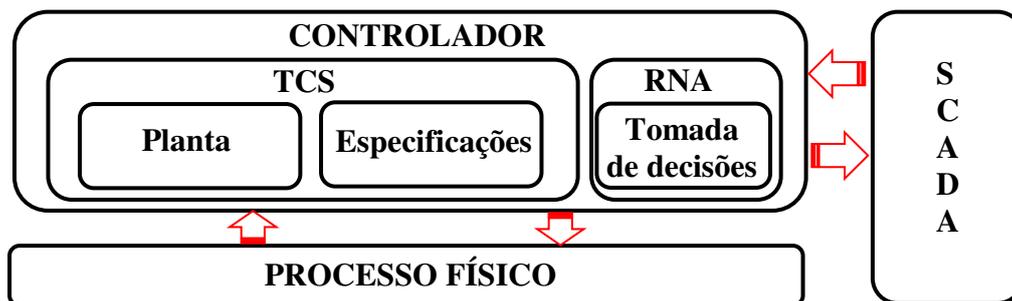


Figura 10 - Integração e obtenção do novo controlador.

As seguintes regras lógicas sintetizam como foi implementada a integração efetiva entre as ações sugeridas pela TCS e pela RNA, dentro do software SCADA.

Seja  $A_O$  uma Ação Objetivo a ser implementada sobre manejo avícola. Seja  $A_{TCS}$  uma ação sugerida pelo controle reativo e  $A_{RNA}$  é a ação sugerida pelo controle inteligente. Seja  $A_X$ , para  $X = TCS, RNA$ , calculado em função de uma sequência  $S = (s_1, \dots, s_n)$  com  $n$  parâmetros de entrada providos por sensoriamento. Então define-se:

- Se  $A_{TCS}(S) = P \wedge A_{RNA}(S) = Q$  tal que  $P = Q$ 
  - Então:  $A_O = P = Q$
- Se  $A_{TCS}(S) = P \wedge A_{RNA}(S) = Q$  tal que  $P \neq Q$ 
  - Então:  $A_O = R$  tal que  $R$  é a função de normalização.

O cálculo da função de normalização  $R$ , usada como equalizadora das flutuações entre as diferentes abordagens de controle, pode ser implementada por meio de algoritmos computacionais avançados, capazes de derivar uma equalização aceitável através de análise probabilística e de otimização.

Entretanto, na prática, observou-se que as grandezas quantitativas entre as ações  $P$  e  $Q$  são em geral bastante similares. No conjunto de dados avaliado, não observou-se nenhum caso que justificasse a aplicação de um algoritmo avançado, e eventualmente custoso, de normalização. Dessa forma, optou-se por utilizar uma normalização  $R = (P + Q)/2$ , resguardados os casos particulares para os quais se justifique um refinamento da ação de controle.

Nesse trabalho, a integração física foi implementada de fato utilizando-se de um sistema SCADA. Assim, as informações acerca do andamento do processo, bem como mensagens de alarmes e falhas poderão ser acessados remotamente e em tempo real através da interface do SCADA (BOYER, 2009). A interface do SCADA, que fornece ao avicultor via Internet as três opções de controle supracitadas, é apresentada na Figura 11 e o código da implementação pode

ser acessado em LORENCENA (2016).

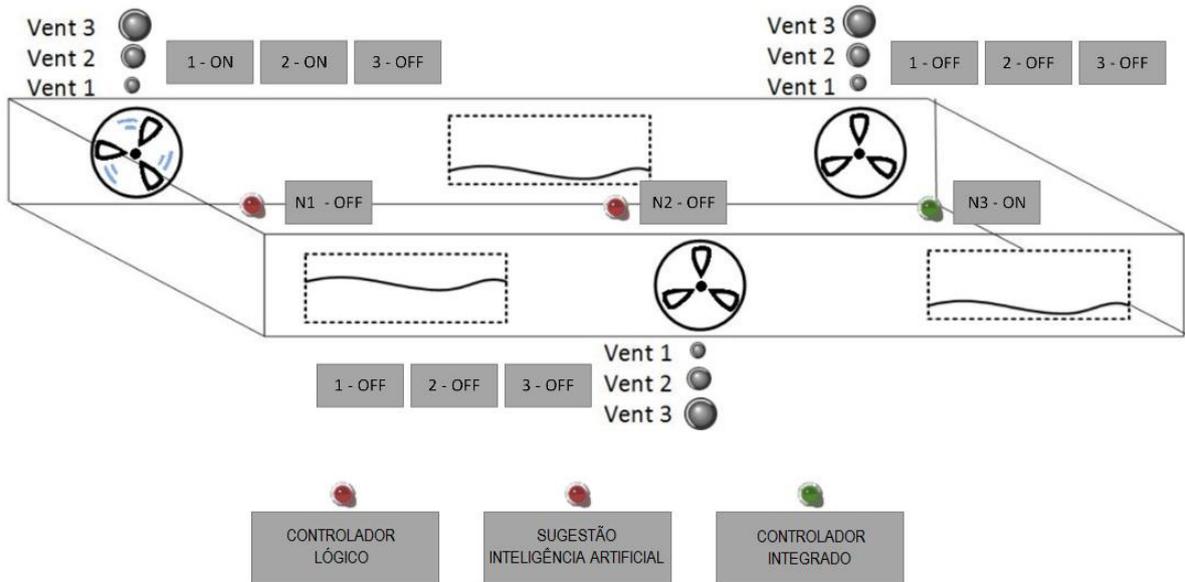


Figura 11 - Interface de monitoramento e controle.

A Figura 11 apresenta uma interface do aplicativo SCADA desenvolvido para integrar as três tecnologias de controle. Ao ser selecionada, cada opção operacional executa uma funcionalidade específica, i.e., uma política de operação. Os detalhes de operação de cada alternativa são detalhados na Figura 12.

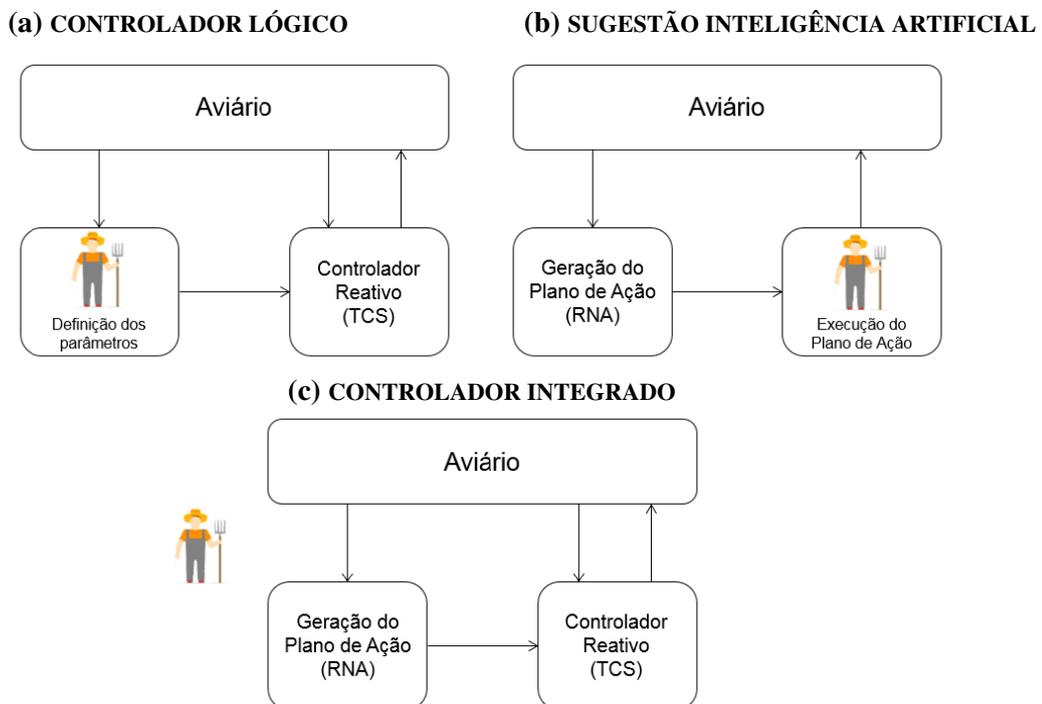


Figura 12 - Integração do aviário com os controladores.

A opção CONTROLADOR LÓGICO (Figura 12a), executa o sistema conforme as regras de controle estabelecidas pela TCS, conforme exposto na seção 2.1. Nessa opção, a definição dos parâmetros de controle é realizada pelo avicultor, baseado na sua experiência e em tabelas de

suporte ao manejo.

Já a escolha pela opção SUGESTÃO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (Figura 12b) fornece ao operador o conjunto de parâmetros obtidos através da RNA, conforme apresentado na seção 2.2. Então, cabe ao avicultor operar os equipamentos conforme a recomendação do sistema especialista.

Finalmente, quando selecionada a opção CONTROLADOR INTEGRADO (Figura 12c), as ações de controle são definidas com base na ponderação entre as sugestões providas pela RNA e as ações derivadas da lógica ótima de controle reativo. Assim, esta opção tende a proporcionar maior independência da intervenção do especialista humano.

Em resumo, a abordagem de controle proposta integra suporte a tomada de decisão e controle reativo, usufruindo paralelamente das vantagens oriundas da percepção e experiência do avicultor (RNA), com a segurança de um sistema de atuação reativo (TCS).

#### 4. Considerações finais

Este trabalho explora tecnologias emergentes para o controle e gerenciamento de processo de criação de frangos de corte, para propor e implementar um esquema de controle híbrido que tira proveito da integração entre duas dessas tecnologias.

Trata-se de duas estratégias recentemente propostas na literatura. A primeira versa sobre uma abordagem baseada na TCS para promover o controle de ambiência em processos avícolas, atenuando a dependência de conhecimento do avicultor e que leva a um controlador ótimo, que atribui exatidão, produtividade, independência ao processo, além da garantia formal do cumprimento das especificações. A segunda, propõem a utilização de modelos de aprendizagem de máquina para a geração de planos de ação para o manejo avícola, auxiliando o avicultor na tomada de decisão acerca da melhor estratégia para o manejo.

Ambas as propostas evidenciam relevância prática e ampla aplicabilidade para o melhoramento do processo de criação de frangos de corte. No entanto, isoladamente, as abordagens desamparam aspectos importantes a serem considerados no controle de um processo avícola, como o fato de poder contar com a experiência do avicultor, ou o fato de ser capaz de coordenar automaticamente um conjunto de componentes eletrônicos.

Nesse sentido, a abordagem híbrida proposta desponta como alternativa para capturar as principais vantagens de cada uma das abordagens e disponibilizar essas vantagens ao avicultor no escopo do mesmo esquema de controle do processo automático. Como resultado, foi possível incorporar, no controle automático (reativo), elementos que capturam a percepção do avicultor.

Perspectivas de trabalhos futuros consideram testar as alternativas de controle no contexto da criação de um lote de frangos de corte. Essa ação é complexa devido ao custo inerente à essa produção. Para abreviar esse fato, está se considerando a possibilidade de aplicar o método sobre estruturas experimentais de escala reduzida. Nesse caso poderiam ser testadas, ainda, variações da função de normalização proposta.

#### 5. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Fundação Araucária sob número 378/2014 e pelo CNPq sob número 402145/2016-0.

#### Referências

AKESSON, K.; FABIAN, M.; FLORDAL, H.; MALIK, R.; VAHIDI, A.; SKOLDSTAM, M.; CENGIC, G. *Supremica*. 2014. Disponível em: <<http://www.supremica.org/>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Relatório Anual 2016. Relatório Anual, 2016.

- BISHOP, C.M.** Neural Networks for Pattern Recognition. Birmingham, UK: Aston University, 1995.
- BOYER, S.A.** Scada: Supervisory Control And Data Acquisition. 4. ed. International Society of Automation, 2009.
- CASSUCE, D.C.** Determinação das Faixas de Conforto para Frangos de Corte de Diferentes Idades Criados no Brasil. 2011. Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- COBB.** COBB Broiler Management Guide. p. 1–69, 2012. Disponível em: <[www.cobb-vantress.com](http://www.cobb-vantress.com) rev 2012 L-1020-05>.
- CURY, J. E. R.** Teoria de Controle Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos (Apostila). V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2001.
- DE OLIVEIRA, G.A.; DE OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; CECON, P.R.; VAZ, R.G.M.V.; ORLANDO, U.A.D.** Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte dos 22 aos 42 dias. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 35, n. 4, p. 1398–1405, 2006.
- DE SOUZA, V.L.F.; BURANELO, G.S.; GASPARINO, E.; CARDOZO, R.M.; BARBOSA, M.J.B.** Efeito da automatização nas diferentes estações do ano sobre os parâmetros de desempenho, rendimento e qualidade da carne de frangos de corte. Acta Scientiarum - Animal Sciences, v. 32, n. 2, p. 175–181, 2010.
- FURLAN, R.L.** Influência da temperatura na produção de frangos de corte. VII Simpósio Sul de Avicultura, p. 104–135, 2006.
- KOHAVI, R.** A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. 1995, San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc, 1995. p. 1137–1143.
- LORENCENA, M.C.; TEIXEIRA, M.; SILVA, A.L.; RIBEIRO, R.** Contribuições ao Manejo Avícola Utilizando Técnicas de Controle Supervisório. 2016, Congresso INDUSCON 2016 - 12th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, 2016.
- LORENCENA, M.C.; SCHMIDT, L.; TEIXEIRA, M.; RIBEIRO, R.; CASANOVA, D.** Improving Control, Supervision, and Decision Making in Poultry Farming. Submetido a: Computers and Electronics in Agriculture, 2017.
- LORENCENA, M.C.** Poultry Farming Process Controller. Disponível em: <<https://goo.gl/XMh4te>>, 2016
- RIBEIRO, R.; CASANOVA, D.; TEIXEIRA, M.; WIRTH, A.; GOMEZ, H.M.; BORGES, A.P.; ENEMBRECK, F.** Generating Action Plans For Poultry Management Using Artificial Neural Networks. Submetido a: Computers and Electronics in Agriculture, 2016.