



BRUNA CAMPOS AMARAL

**DESEMPENHO DE SISTEMAS DE INFERÊNCIA *FUZZY*
PARA PREDIÇÃO DO CONSUMO DE RAÇÃO DE COELHOS
NOVA ZELÂNDIA BRANCO APÓS O DESMAME**

LAVRAS – MG

2021

BRUNA CAMPOS AMARAL

**DESEMPENHO DE SISTEMAS DE INFERÊNCIA *FUZZY* PARA PREDIÇÃO DO
CONSUMO DE RAÇÃO DE COELHOS NOVA ZELÂNDIA BRANCO APÓS O
DESMAME**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Agrícola, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

MSc. Maria Alice Junqueira Gouvêa Silva
Co orientadora

LAVRAS – MG

2021

BRUNA CAMPOS AMARAL

**DESEMPENHO DE SISTEMAS *FUZZY* PARA PREDIÇÃO DO CONSUMO DE
RAÇÃO DE COELHOS NOVA ZELÂNDIA BRANCO APÓS O DESMAME
PERFORMANCE OF FUZZY INFERENCE SYSTEMS TO PREDICT THE FEED
INTAKE OF NEW ZEALAND WHITE RABBITS AFTER WEANING**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Agrícola, para a
obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 10 de março de 2021.

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior	UFLA
Prof. Dr. Leonardo Schiassi	UFLA
MSc. Maria Alice Junqueira Gouvêa Silva	UFLA

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

MSc. Maria Alice Junqueira Gouvêa Silva
Co orientadora

LAVRAS – MG

2021

RESUMO: Objetivou-se com o presente estudo, comparar sistemas *fuzzy* com diferentes configurações para prever o consumo de ração de coelhos da raça Nova Zelândia Branco (NZB) submetidos a desafios térmicos após o desmame. O experimento teve duração de 14 dias e foram utilizados doze coelhos com idades entre 30 e 43 dias. Os coelhos foram alojados em túneis de vento climatizados submetidos a diferentes temperaturas de bulbo seco do ar (t_{bs} : 20, 24, 28 e 32 °C). Foram avaliados os métodos de inferência de Mamdani envolvendo cinco métodos de defuzzificação [centro de gravidade (centróide), bissetriz da área (bissetriz), maior do máximo (*lom*), meio do máximo (*mom*) e menor do máximo (*som*)] e de Sugeno com dois métodos de defuzzificação [média ponderada (*wtaver*) e soma ponderada (*wtsum*)]. Para o método de inferência Mamdani foram testadas funções de pertinência triangulares, gaussianas e trapezoidais para variáveis de entrada e de saída. Por sua vez, para o método de inferência Sugeno foram utilizadas funções de pertinência triangulares, gaussianas e trapezoidais para as variáveis de entrada, e as variáveis de saída foram representadas por funções *singletons*. Após a comparação dos sistemas *fuzzy* verificou-se que ambos os métodos de inferência (Mamdani e Sugeno) independente dos métodos de defuzzificação são capazes de prever o consumo de ração de coelhos, no entanto o método de inferência Sugeno com defuzzificação *wtaver* se mostrou mais eficiente. Desta forma, o sistema de suporte à decisão desenvolvido pode auxiliar no manejo deste animal, bem como, no acionamento de sistemas de climatização instalados no interior das instalações nesta fase de desenvolvimento dos animais.

PALAVRAS-CHAVE: Cunicultura, resposta produtiva, lógica *fuzzy*, funções de pertinência, inferência, defuzzificação.

ABSTRACT: The aim of the present study was to compare fuzzy systems with different configurations to predict the feed intake of New Zealand White (NZW) rabbits submitted to thermal challenges after weaning. The experiment lasted 14 days and twelve rabbits aged between 30 and 43 days were used. The rabbits were housed in air-conditioned wind tunnels subjected to different dry air bulb temperatures (t_{db} : 20, 24, 28 and 32 ° C). Mamdani inference methods involving five defuzzification methods were evaluated [center of gravity (centroid), area bisector (bisector), largest of maximum (lom), middle of maximum (mom) and smallest of maximum (som)] and of Sugeno with two defuzzification methods [weighted average (wtaver) and weighted sum (wtsum)]. For the Mamdani inference method, triangular, Gaussian and trapezoidal pertinence functions were tested for input and output variables. In turn, for the Sugeno inference method, triangular, Gaussian and trapezoidal pertinence functions were used for the input variables, and the output variables were represented by singletons functions. After comparing the fuzzy systems, it was found that both inference methods (Mamdani and Sugeno) regardless of the defuzzification methods are capable of predicting rabbit feed consumption, however the Sugeno inference method with wtaver defuzzification proved to be more efficient. In this way, the decision support system developed can assist in the handling of this animal, as well as in the activation of air conditioning systems installed inside the facilities at this stage of animal development.

KEYWORDS: Cuniculture, productive response, fuzzy logic, pertinence functions, inference, defuzzification.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	8
2.1	Dados experimentais	8
2.2	Desenvolvimento dos sistemas <i>fuzzy</i>.....	9
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4	CONCLUSÃO	18
	REFERÊNCIAS.....	19

1 INTRODUÇÃO

A temperatura do ambiente é um fator de extrema influência na produtividade de coelhos, visto que, quando submetidos a situações de estresse térmico ocorre aumento na frequência respiratória, falta de apetite com conseqüente redução do consumo de ração e perda de peso (AZEVEDO et al., 2001). O estresse agudo de calor, mesmo que por um curto período, comprometem o desempenho de coelhos na fase de crescimento (FERREIRA et al., 2017).

Apesar de ser uma atividade agrícola secundária (BONAMIGO, 2017), a produção cunícola impacta positivamente na produção de alimentos, visto que a carne possui excelente qualidade com alta digestibilidade e baixo colesterol (CULLERE; DALLE ZOTTE, 2018), possibilidade de produção o ano inteiro devido à elevada fertilidade e, facilidade no manejo por ser um animal dócil e de pequeno porte. Considerando o alto valor biológico da carne de coelho, o seu consumo tende a crescer devido ao aumento expressivo de problemas de saúde relacionados à obesidade, fazendo com que a busca por alimentos saudáveis cresça cada vez mais no cenário mundial (VICENTE et al., 2018). Além disso, o mercado consumidor atual também tem se voltado para a redução dos impactos ambientais, e a cunicultura se destaca por ser uma das produções mais sustentáveis e simples quando comparada a outras atividades como, por exemplo, avicultura e suinocultura (KLINGER et al., 2020).

Ademais, os consumidores estão cada vez mais exigentes com relação às garantias de bem-estar dos animais (LEIRA et al., 2017). Portanto, faz-se necessário o desenvolvimento e aplicação de técnicas de análise e controle, que possibilitem controlar o ambiente térmico no interior dos galpões cunícolas, a fim de garantir o bem-estar dos coelhos. Dentre as técnicas de análise e controle, os sistemas baseados em inteligência artificial pela metodologia *fuzzy*, tem se mostrado eficientes em pesquisas com conforto animal (CAMPOS et al., 2013; ABORISADE & STEPHEN, 2014; JULIO et al., 2015; MIRZAEI-GHALEH et al., 2015; SCHIASSI et al., 2015; TAVARES et al., 2017; BAHUTI et al., 2018; DE OLIVEIRA CASTRO et al., 2020; ABREU et al., 2020).

A teoria dos conjuntos *fuzzy* consiste em uma extensão da teoria dos conjuntos clássicos permitindo a inserção de graus de pertinência, com isso torna-se possível armazenar dados imprecisos e gerar respostas baseadas em informações vagas ou ambíguas, em processos similares ao raciocínio humano (GOMIDE et al., 1995).

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver e comparar modelos matemáticos computacionais com base na teoria dos conjuntos *fuzzy*, para prever o consumo de ração diário de coelhos Nova Zelândia Branco (NZB) submetidos a diferentes temperaturas após o desmame.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Dados experimentais

Para o desenvolvimento dos sistemas *fuzzy* foi usado um banco de dados advindo de um experimento conduzido por Silva (2019), em quatro túneis de vento climatizados com doze coelhos da raça Nova Zelândia Branco em fase de crescimento, com uma faixa de idade entre 30 e 43 dias (logo após o desmame).

O banco de dados experimentais usados para o desenvolvimento dos sistemas *fuzzy* são constituídos pela combinação fatorial de quatro temperaturas de bulbo seco do ar (t_{bs} : 20, 24 28 e 32 °C) e quatorze dias de exposição ao ambiente térmico após o desmame (tempo após o desmame: 1, 2, ..., 14 dias), com três repetições por tratamento, totalizando 168 linhas de dados.

Durante todo o período experimental, a umidade relativa do ar, a velocidade do ar e a intensidade de luz foram de 60%, 0,2 m.s⁻¹ e 20 lux das 6 às 18 h (12 L: 12 E) respectivamente, sendo estas consideradas condições de conforto para coelhos em fase de crescimento (FERREIRA et al., 2012; ROCA et al., 1998).

Foi utilizado um módulo de aquisição, armazenamento e controle de dados (CR1000, Campbell Scientific) para o controlar o ambiente térmico no interior dos túneis de vento climatizado. Para a medição das variáveis t_{bs} e UR foram utilizados sensores com exatidão de 0,3°C e 1%, respectivamente. Na Tabela 1 estão listados os valores médios de t_{bs} e UR observados, durante todo o período experimental, no interior dos túneis de vento.

Dentro de cada túnel de vento climatizado foi alocada uma gaiola de arame com três repartições onde os coelhos eram alojados, atendendo a recomendação de 0,08 m² animal⁻¹ (MOURA, 2010).

A higienização das gaiolas ocorria diariamente pela manhã, período no qual eram realizadas as pesagens da ração fornecida e das sobras para cada animal. Posteriormente, calculava-se o consumo de ração diário dos animais (CRD, g).

Tabela 1. Valores médios e desvios padrões (entre parênteses) de temperatura de bulbo seco (t_{bs}) e umidade relativa (UR) do ar no interior dos túneis de vento climatizados para cada tratamento aplicado.

Tratamento	t_{bs} (°C)	UR (%)
20°C	20,3 (0,02)	60 (0,1)
24°C	23,9 (0,10)	60 (0,1)
28°C	27,9 (0,09)	60 (0,1)
32°C	31,8 (0,11)	59 (1,4)

Os coelhos tiveram livre acesso à água potável e a ração comercial balanceada seguindo as recomendações apresentadas por Machado et al. (2019) para coelhos na fase de crescimento.

2.2 Desenvolvimento dos sistemas *fuzzy*

Para a elaboração dos sistemas *fuzzy*, o tempo após o desmame e a temperatura do bulbo seco (t_{bs} , °C) foram consideradas variáveis de entrada e o consumo de ração diário (CRD, g) foi definido como variável de saída. O banco de dados foi subdividido aleatoriamente em dois subconjuntos, sendo 2/3 (112 linhas de dados) para o desenvolvimento do sistema e 1/3 (56 linhas de dados) para validação, conforme a metodologia proposta por Hernández-Julio et al. (2019).

Para a análise foram usados os métodos de inferência Mamdani e Takagi-Sugeno. Para inferência Mamdani cinco métodos de defuzzificação foram aplicados: centro de gravidade da área (centroide), bissetor da área (bissetor), menor dos máximos (*som*), média dos máximos (*mom*) e maior dos máximos (*lom*). Por sua vez, para a inferência Sugeno foram avaliados dois métodos de defuzzificação: soma ponderada (*wtsum*) e média ponderada (*wtaver*).

Para ambos os métodos de inferência empregou-se, para as variáveis de entrada, funções de pertinência triangular, gaussiana e trapezoidal (Figura 1). Para inferência Mamdani adotou-se, para as variáveis de saída, funções triangulares, gaussianas e trapezoidal (Figuras 2a, 2b e 2c) e para inferência Sugeno, usaram-se funções *singletons* (Figura 2d).

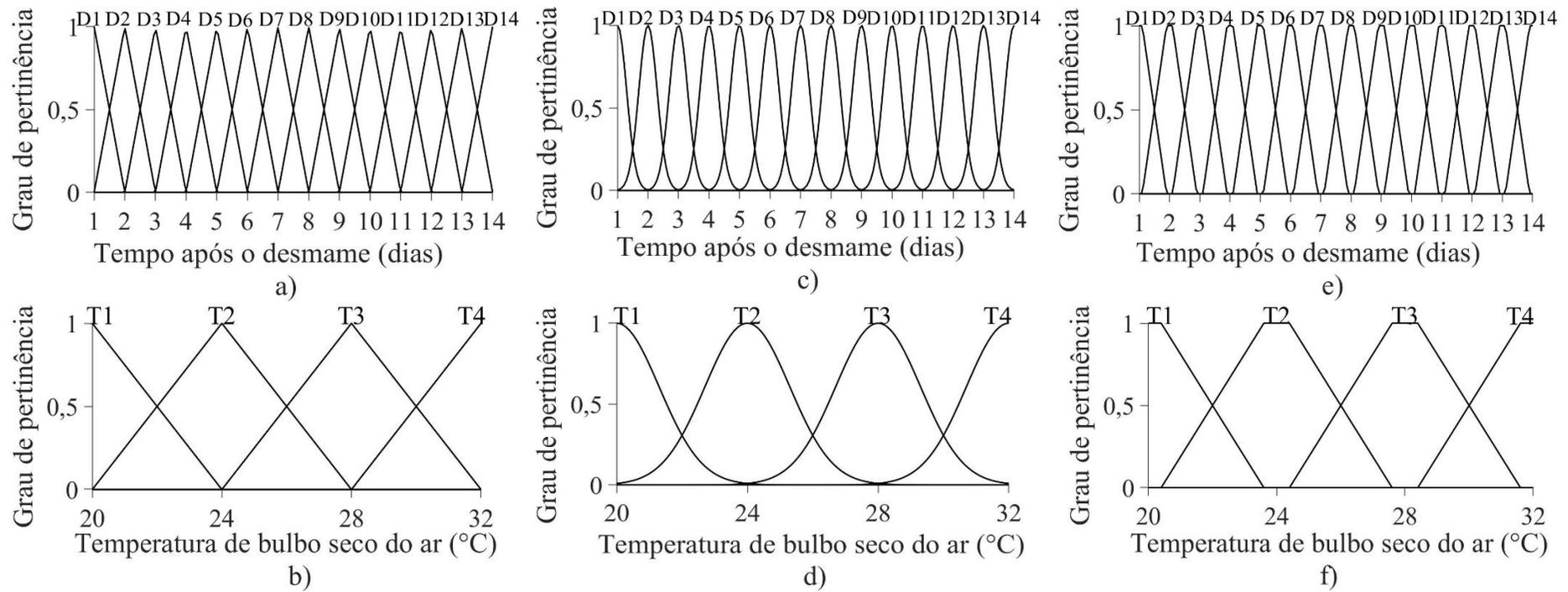


Figura 1 - Funções de pertinência triangulares (“a” e “b”), gaussianas (“c” e “d”) e trapezoidais (“e” e “f”) aplicadas às variáveis de entrada, dias após o desmame (dias) e temperaturas de bulbo seco do ar (°C).

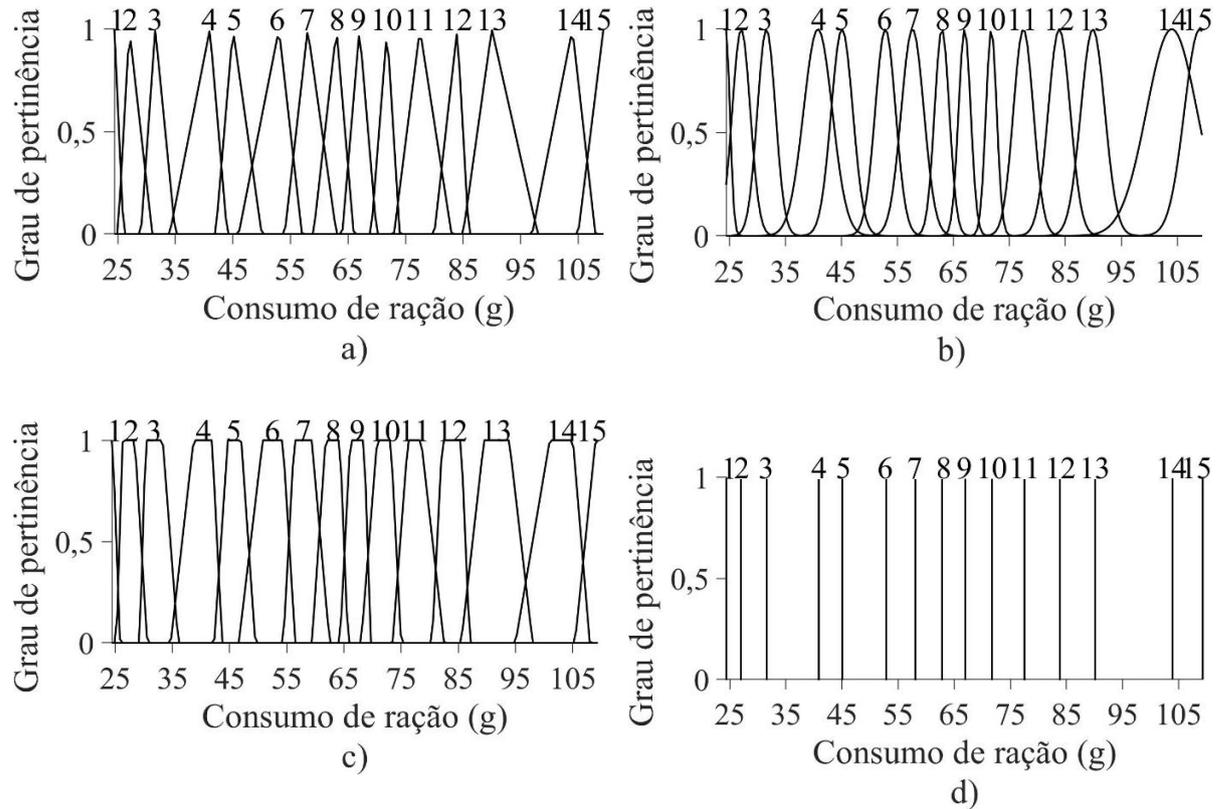


Figura 2 - Funções de pertinência (a) triangulares, (b) gaussianas e (c) trapezoidais usadas para representar a variável de saída consumo de ração na inferência Mamdani e, (d) conjuntos *singletons* na inferência Sugeno.

Foram desenvolvidas 56 regras (Tabela 2), seguindo as combinações dos dados de entrada, do qual, para cada regra, atribuiu-se fator de ponderação 1, pois se ajustam ao modelo tomando como referência os dados obtidos no experimento. Esse valor de fator de ponderação também foi usado por diversos autores no desenvolvimento de sistemas *fuzzy* (LOURENÇONI et al., 2019; TAVARES et al., 2020; DE OLIVEIRA CASTRO et al., 2020).

Os dados de consumo de ração obtidos no experimento e os simulados pelo sistema *fuzzy* foram comparados usando o teste t de Student ($p < 0,05$).

Para a validação dos sistemas *fuzzy* desenvolvidos foram utilizados cinco diferentes índices estáticos: desvio padrão médio (σ), erro percentual médio (E_p), erro absoluto médio (E_a), coeficiente de determinação (R^2) e raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE).

Tabela 2. Tabela de regras desenvolvida

<p>1. If (tempo após o desmame is D1) and (t_{bs} is T1) then (CR is 5)</p> <p>2. If (tempo após o desmame is D1) and (t_{bs} is T2) then (CR is 3)</p> <p>3. If (tempo após o desmame is D1) and (t_{bs} is T3) then (CR is 2)</p> <p>4. If (tempo após o desmame is D1) and (t_{bs} is T4) then (CR is 2)</p> <p>5. If (tempo após o desmame is D2) and (t_{bs} is T1) then (CR is 4)</p> <p>6. If (tempo após o desmame is D2) and (t_{bs} is T2) then (CR is 3)</p> <p>7. If (tempo após o desmame is D2) and (t_{bs} is T3) then (CR is 6)</p> <p>8. If (tempo após o desmame is D2) and (t_{bs} is T4) then (CR is 1)</p> <p>9. If (tempo após o desmame is D3) and (t_{bs} is T1) then (CR is 6)</p> <p>10. If (tempo após o desmame is D3) and (t_{bs} is T2) then (CR is 4)</p> <p>11. If (tempo após o desmame is D3) and (t_{bs} is T3) then (CR is 5)</p> <p>12. If (tempo após o desmame is D3) and (t_{bs} is T4) then (CR is 2)</p> <p>13. If (tempo após o desmame is D4) and (t_{bs} is T1) then (CR is 6)</p> <p>14. If (tempo após o desmame is D4) and (t_{bs} is T2) then (CR is 4)</p> <p>15. If (tempo após o desmame is D4) and (t_{bs} is T3) then (CR is 6)</p> <p>16. If (tempo após o desmame is D4) and (t_{bs} is T4) then (CR is 4)</p> <p>17. If (tempo após o desmame is D5) and (t_{bs} is T1) then (CR is 8)</p> <p>18. If (tempo após o desmame is D5) and (t_{bs} is T2) then (CR is 6)</p> <p>19. If (tempo após o desmame is D5) and (t_{bs} is T3) then (CR is 6)</p> <p>20. If (tempo após o desmame is D5) and (t_{bs} is T4) then (CR is 5)</p> <p>21. If (tempo após o desmame is D6) and (t_{bs} is T1) then (CR is 10)</p> <p>22. If (tempo após o desmame is D6) and (t_{bs} is T2) then (CR is 7)</p> <p>23. If (tempo após o desmame is D6) and (t_{bs} is T3) then (CR is 8)</p> <p>24. If (tempo após o desmame is D6) and (t_{bs} is T4) then (CR is 6)</p> <p>25. If (tempo após o desmame is D7) and (t_{bs} is T1) then (CR is 11)</p> <p>26. If (tempo após o desmame is D7) and (t_{bs} is T2) then (CR is 7)</p> <p>27. If (tempo após o desmame is D7) and (t_{bs} is T3) then (CR is 9)</p> <p>28. If (tempo após o desmame is D7) and (t_{bs} is T4) then (CR is 9)</p>	<p>29. If (tempo após o desmame is D8) and (t_{bs} is T1) then (CR is 12)</p> <p>30. If (tempo após o desmame is D8) and (t_{bs} is T2) then (CR is 8)</p> <p>31. If (tempo após o desmame is D8) and (t_{bs} is T3) then (CR is 10)</p> <p>32. If (tempo após o desmame is D8) and (t_{bs} is T4) then (CR is 10)</p> <p>33. If (tempo após o desmame is D9) and (t_{bs} is T1) then (CR is 13)</p> <p>34. If (tempo após o desmame is D9) and (t_{bs} is T2) then (CR is 10)</p> <p>35. If (tempo após o desmame is D9) and (t_{bs} is T3) then (CR is 11)</p> <p>36. If (tempo após o desmame is D9) and (t_{bs} is T4) then (CR is 11)</p> <p>37. If (tempo após o desmame is D10) and (t_{bs} is T1) then (CR is 14)</p> <p>38. If (tempo após o desmame is D10) and (t_{bs} is T2) then (CR is 10)</p> <p>39. If (tempo após o desmame is D10) and (t_{bs} is T3) then (CR is 11)</p> <p>40. If (tempo após o desmame is D10) and (t_{bs} is T4) then (CR is 7)</p> <p>41. If (tempo após o desmame is D11) and (t_{bs} is T1) then (CR is 14)</p> <p>42. If (tempo após o desmame is D11) and (t_{bs} is T2) then (CR is 11)</p> <p>43. If (tempo após o desmame is D11) and (t_{bs} is T3) then (CR is 12)</p> <p>44. If (tempo após o desmame is D11) and (t_{bs} is T4) then (CR is 7)</p> <p>45. If (tempo após o desmame is D12) and (t_{bs} is T1) then (CR is 14)</p> <p>46. If (tempo após o desmame is D12) and (t_{bs} is T2) then (CR is 12)</p> <p>47. If (tempo após o desmame is D12) and (t_{bs} is T3) then (CR is 13)</p> <p>48. If (tempo após o desmame is D12) and (t_{bs} is T4) then (CR is 11)</p> <p>49. If (tempo após o desmame is D13) and (t_{bs} is T1) then (CR is 15)</p> <p>50. If (tempo após o desmame is D13) and (t_{bs} is T2) then (CR is 11)</p> <p>51. If (tempo após o desmame is D13) and (t_{bs} is T3) then (CR is 12)</p> <p>52. If (tempo após o desmame is D13) and (t_{bs} is T4) then (CR is 8)</p> <p>53. If (tempo após o desmame is D14) and (t_{bs} is T1) then (CR is 14)</p> <p>54. If (tempo após o desmame is D14) and (t_{bs} is T2) then (CR is 13)</p> <p>55. If (tempo após o desmame is D14) and (t_{bs} is T3) then (CR is 12)</p> <p>56. If (tempo após o desmame is D14) and (t_{bs} is T4) then (CR is 9)</p>
--	--

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão listados os valores de p obtidos pelo Teste t de Student e também os índices estatísticos (σ , Ep, Ea, R² e RMSE) resultantes da comparação dos sistemas *fuzzy* desenvolvidos com os dados obtidos experimentalmente.

De acordo com o teste t de Student, considerando um nível de significância de 5%, é possível afirmar que não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores obtidos no experimento e os valores simulados pelos diferentes sistemas *fuzzy* desenvolvidos, sendo que o sistema 18 apresentou a menor variação média entre as medidas.

Ao analisar os valores obtidos de desvio padrão (σ), verifica-se que, os menores valores obtidos (0,7071) foram para inferência Sugeno, com curvas triangulares e trapezoidais para ambos os métodos de defuzzificação (*wtaver* e *wsum*). Abreu et al. (2015), Damasceno et al. (2017) e Lourençoni et al. (2019) ao desenvolverem sistemas *fuzzy* para prever o CRD de frangos de corte, optaram por utilizar o método de inferência Mandani, obtendo como melhores valores de desvio padrão 1,19; 4,77 e 3,99 respectivamente; evidenciando a capacidade dos sistemas desenvolvidos e também da inferência Sugeno.

O método de inferência Sugeno com defuzzificação *wtaver* por curvas gaussianas (sistema 18), apresentou o maior número de índices estatísticos com melhores valores (Ep: 1,67; R²: 0,99 e RMSE: 1,48). Esse resultado corrobora com o estudo realizado por Bahuti et al. (2018) que, ao desenvolver diferentes sistemas *fuzzy* para predição da temperatura superficial de galinhas poedeiras, também obtiveram os melhores índices com funções de pertinência do tipo gaussianas e defuzzificação *wtaver*.

Abreu et al. (2020) treinaram redes neurais artificiais para prever a conversão alimentar, consumo de água e temperatura cloacal de frangos, obtendo valores de RMSE de 0,19; 1,10 e 3,40, respectivamente. Para os sistemas *fuzzy* desenvolvidos neste estudo, os valores de RMSE variaram entre 1,48 e 2,05, podendo ser considerados adequados para a predição do CR de coelhos.

Por sua vez, os valores de Ea variaram de 1,0 a 1,3g para os sistemas *fuzzy* desenvolvidos com diferentes métodos de inferências e defuzzificação, além das diversas funções de pertinência testadas. Ponciano et al. (2012) propuseram um sistema *fuzzy* para prever o consumo de ração de frangos de corte, que resultou no erro absoluto médio de 6,09g.

Tabela 3 – Teste t de Student e indicadores estatísticos das diferentes estruturas de sistemas de inferência *fuzzy* testados para consumo de ração.

Sistema	Inferência	Funções	Defuzzificação	t-test	Indicadores de desempenho dos sistemas				
					σ	Ea	Ep	R ²	RMSE
1	Mamdani	Entrada Triangular Saída Triangular	centroide	p=0,2142 ^{NS}	0,8132	1,1500	1,9031	0,9951	1,5958
2			bissetor	p=0,6680 ^{NS}	0,8485	1,2000	1,8874	0,9952	1,5475
3			mom	p=0,8850 ^{NS}	0,8132	1,1500	1,7813	0,9955	1,4863
4			lom	p=0,8850 ^{NS}	0,8132	1,1500	1,7813	0,9955	1,4863
5			som	p=0,8850 ^{NS}	0,8132	1,1500	1,7813	0,9955	1,4863
6	Mamdani	Entrada Gaussiana Saída Gaussiana	centroide	p=0,7270 ^{NS}	0,9192	1,3000	2,0143	0,9946	1,7491
7			bissetor	p=0,6870 ^{NS}	0,8839	1,2500	1,9831	0,9951	1,6797
8			mom	p=0,1516 ^{NS}	0,8485	1,2000	1,9186	0,9954	1,5247
9			lom	p=0,1516 ^{NS}	0,8485	1,2000	1,9186	0,9954	1,5247
10			som	p=0,1516 ^{NS}	0,8485	1,2000	1,9186	0,9954	1,5247
11	Mamdani	Entrada Trapezoidal Saída Trapezoidal	centroide	p=0,3676 ^{NS}	0,8485	1,2000	1,7376	0,9945	1,6933
12			bissetor	p=0,8453 ^{NS}	0,8485	1,2000	1,8874	0,9949	1,5748
13			mom	p=0,6277 ^{NS}	0,7248	1,0300	1,8874	0,9948	1,6136
14			lom	p=0,0985 ^{NS}	0,8132	1,1500	1,8708	0,9942	1,8930
15			som	p=0,0862 ^{NS}	0,8485	1,2000	1,7927	0,9948	1,9277
16	Sugeno	Entrada Triangular Saída Singleton	wtaver	p=0,8158 ^{NS}	0,7071*	1,0000*	1,6923	0,9955	1,4885
17			wtsum	p=0,8158 ^{NS}	0,7071*	1,0000*	1,6923	0,9955	1,4885
18	Sugeno	Entrada Gaussiana Saída Singleton	wtaver	p=0,8984 ^{NS}	0,7425	1,0500	1,6710*	0,9957*	1,4763*
19			wtsum	p=0,0821 ^{NS}	0,9192	1,3000	1,9403	0,9951	2,0470
20	Sugeno	Entrada Trapezoidal Saída Singleton	wtaver	p=0,8158 ^{NS}	0,7071*	1,0000*	1,6923	0,9955	1,4885
21			wtsum	p=0,8158 ^{NS}	0,7071*	1,0000*	1,6923	0,9955	1,4885

* Indica os melhores resultados obtidos para cada índice.

Nota: - Valores de p pelo Teste t (t), NS = não significativo ($p > 0,05$), Desvio padrão médio (σ), erro percentual médio (Ep), erro absoluto médio (Ea), coeficiente de determinação (R^2) e raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE).

- Métodos de defuzzificação: centro de gravidade da área (centroide), bissetor da área (bissetor), maior dos máximos (lom), média dos máximos (mom), menor dos máximos (som), média ponderada (wtaver) e soma ponderada (wtsum).

Na Tabela 2 estão listadas as frequências dos erros absolutos para cada sistema desenvolvido, nota-se que pelo menos 70% dos erros ocorreram na faixa de 0 a 2g. Para o sistema 18, observaram-se os melhores índices, sendo que, 85,72% dos erros absolutos ocorrem até 2g.

Tabela 2 - Frequência de ocorrência de erros absolutos dos diferentes sistemas de inferência *fuzzy* testados para predição do consumo de ração.

Frequência de ocorrência dos erros absolutos (%)							
Sistema	Inferência	Funções	Defuzzificação	Intervalos de erro absoluto (g)			
				[0,0 – 1,0[[1,0 - 2,0[[2,0 – 3,0[≥ 3,0
1			Centroide	46,43	30,36	14,29	8,92
2	Mamdani	Entrada Triangular Saída Triangular	Bissetor	42,86	30,36	19,64	7,14
3			Mom	42,86	35,71	14,29	7,14
4			Lom	42,86	35,71	14,29	7,14
5			Som	42,86	35,71	14,29	7,14
6					Centroide	30,36	41,07
7	Mamdani	Entrada Gaussiana Saída Gaussiana	Bissetor	33,93	32,14	25,00	8,93
8			Mom	39,29	42,86	10,71	7,14
9			Lom	39,29	42,86	10,71	7,14
10			Som	39,29	42,86	10,71	7,14
11					Centroide	42,86	37,50
12	Mamdani	Entrada Trapezoidal Saída Trapezoidal	Bissetor	42,86	30,36	17,86	8,92
13			Mom	48,22	30,36	12,50	8,92
14			Lom	44,64	21,43	19,64	14,29
15			Som	39,29	30,36	21,42	8,93
16			Sugeno	Entrada Triangular Saída <i>Singleton</i>	Wtaver	44,65	41,07
17	Wtsum	44,65			41,07	7,14	7,14
18	Sugeno	Entrada Gaussiana Saída <i>Singleton</i>	Wtaver	44,65	41,07	7,14	7,14
19			Wtsum	39,29	28,57	12,50	19,64
20	Sugeno	Entrada Gaussiana Saída <i>Singleton</i>	Wtaver	44,65	41,07	7,14	7,14
21			Wtsum	44,65	41,07	7,14	7,14

Nota: Métodos de defuzzificação: centro de gravidade da área (centroide), bissetor da área (bissetor), maior dos máximos (lom), média dos máximos (mom), menor dos máximos (som), média ponderada (wtaver) e soma ponderada (wtsum).

Pela análise da Figura 3 observa-se que os pontos se encontram próximos da reta de 45°, indicando a proximidade entre os valores obtidos experimentalmente e os preditos pelo sistema *fuzzy*, apresentando alta acurácia. Os valores de R² para os sistemas foram próximos, variando

de 0,9942 a 0,9957, sendo este último observado no sistema 18. Ferraz et al. (2019) ao desenvolver modelos de árvores de decisão para prever a frequência respiratória e a temperatura da orelha de coelhos, obtiveram valores de R^2 de 0,9750 e 0,9980, respectivamente. Estes valores indicam que tanto os sistemas *fuzzy* quanto as árvores de decisão predizem adequadamente as respostas produtivas e fisiológicas de coelhos.

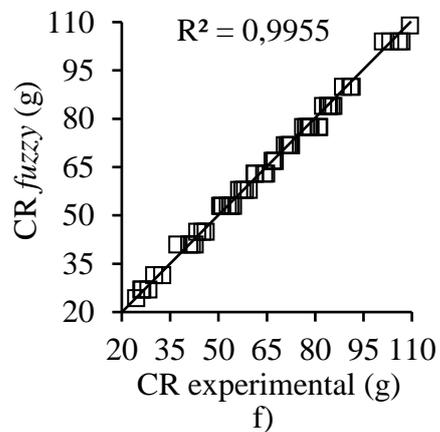
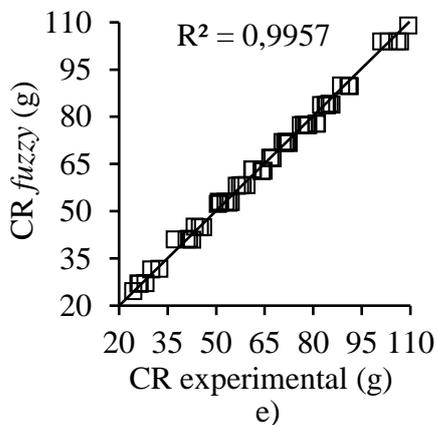
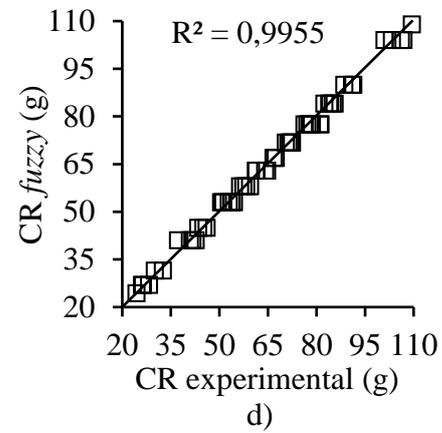
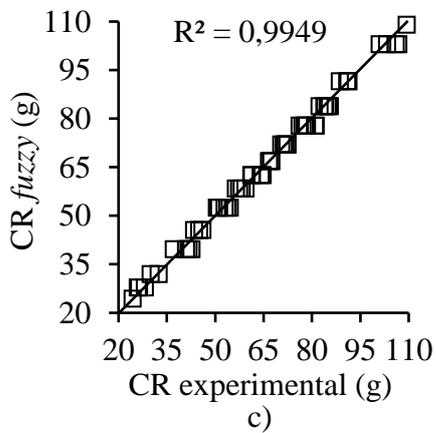
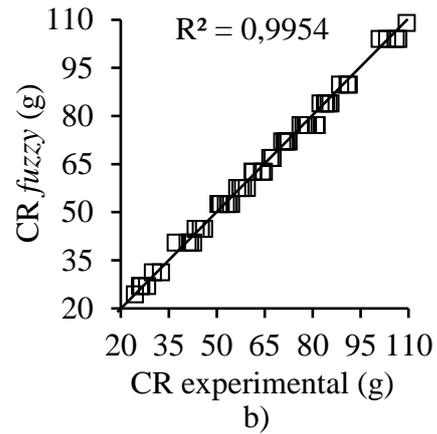
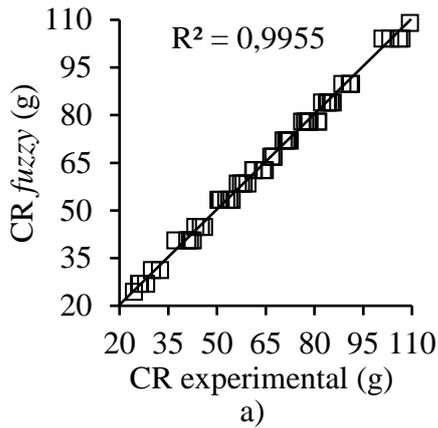


Figura 3 - Relação funcional entre os valores de consumo de ração obtidos experimentalmente (CR experimental) e preditos pelos sistemas *fuzzy* (CR *fuzzy*), para funções (a) triangulares para defuzzificação *mom*, (b) gaussianas e defuzzificação *lom*, (c) trapezoidais e defuzzificação bisetor, (d) triangulares para defuzzificação *wtsum*, e) gaussianas para defuzzificação *wtaver*, f) trapezoidais e defuzzificação *wtsum*.

Os sistemas *fuzzy*, independente de sua configuração, proporcionam adequados valores de predição do consumo de ração de coelhos Nova Zelândia Branco na fase pós-desmame. Entretanto, destaca-se que, o sistema *fuzzy* 18 (constituído pela inferência Sugeno, funções de pertinência das variáveis de entrada gaussianas, funções de pertinência da variável de saída *Singleton* e método de defuzzificação *wtaver*) apresentou o melhor desempenho estatístico para predição do consumo de ração de coelhos Nova Zelândia Branco no período pós-desmame.

A superfície de resposta (Figura 4) gerada após diversas simulações ilustra o comportamento do consumo de ração diário (CRD, g) em função da t_{bs} e do tempo após o desmame. Observa-se que os menores valores de CRD ocorrem para valores de t_{bs} superiores a 22 °C, indicando possível desconforto térmico do animal, o que corrobora com o preconizado pela literatura, que estabelece uma faixa de t_{bs} ideal, a partir do desmame, de 15 a 20°C (CERVERA et al., 2010; JARUCHE et al., 2012; KLINGER et al., 2019).

Os coelhos, com 14 dias após o desmame, submetidos à t_{bs} de 32°C apresentaram redução do CRD de até 52,9 g quando comparado com os coelhos em conforto térmico (20°C), destacando a importância e a eficiência de se manter o ambiente térmico em condições de conforto para coelhos Nova Zelândia Branco no pós-desmame.

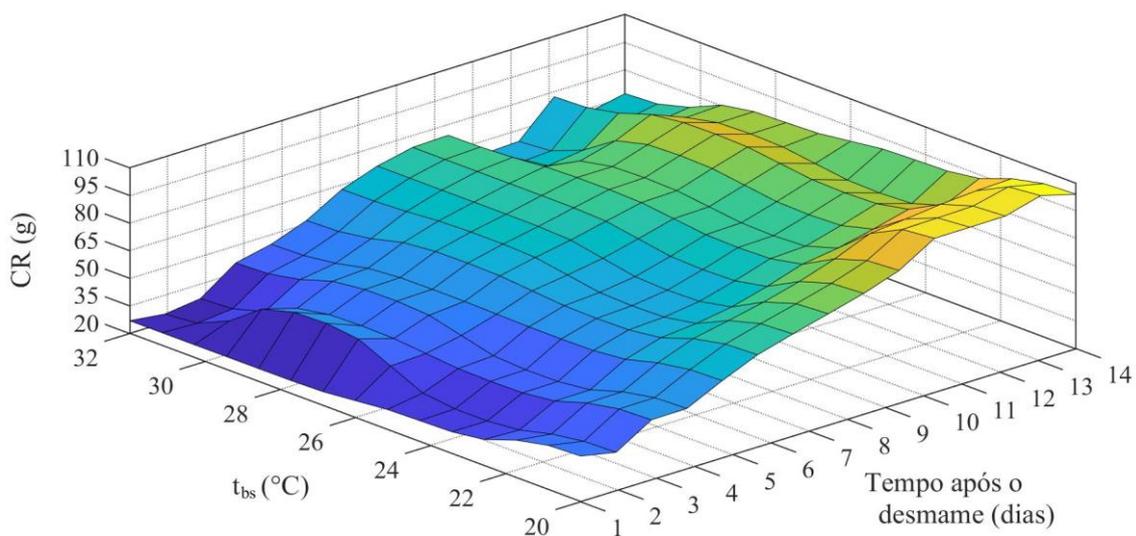


Figura 4 - Superfície de resposta do consumo de ração (CR, g) em função da temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs} , °C) e do tempo após o desmame (dias) de coelhos Nova Zelândia Branco.

Portanto, a realização de simulações utilizando sistemas *fuzzy* para prever o consumo diário de ração de coelhos NZB possibilita o estudo do efeito do ambiente térmico sobre o consumo alimentar dos mesmos. Desta forma, o sistema de suporte à decisão desenvolvido pode auxiliar no manejo deste animal, bem como, no acionamento de sistemas de climatização instalados no interior das instalações nesta fase de desenvolvimento dos animais.

4 CONCLUSÃO

O sistema *fuzzy* constituído pela inferência Sugeno, funções de pertinência das variáveis de entrada gaussianas, funções de pertinência da variável de saída *Singleton* e método de defuzzificação *wtaver*, apresentou os menores erros de simulação.

Desta maneira, recomenda-se seu uso no desenvolvimento de um sistema de suporte a decisão para acionar e desligar a climatização de instalações cunículas na fase pós-desmame, considerada uma das fases mais críticas da criação destes animais.

REFERÊNCIAS

- ABORISADE, D. O. et al. Poultry house temperature control using Fuzzy-PID controller. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, v.11, n.6, p.310-314, 2014.
- ABREU, L. H. P. et al. Artificial neural networks for prediction of physiological and productive variables of broilers. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 1, p. 1-9, 2020.
- ABREU, L. H. P. et al. Fuzzy modeling of broiler performance, raised from 1 to 21 days, subject to heat stress. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 6, p. 967-978, 2015.
- AZEVEDO M. et al. Adaptabilidade de dois grupos genéticos de coelhos às condições de verão e inverno no Estado de Pernambuco. In: **Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia**, 38., 2001, Piracicaba. Anais da 38ª reunião anual da SBZ, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p. 03-04.
- BAHUTI, M. et al. Performance of fuzzy inference systems to predict the surface temperature of broiler chickens. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 6, p. 813-823, 2018.
- BONAMIGO, A. et al. Produção da carne cunícula no Brasil como alternativa sustentável. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 4, p. 1247-1270, 2017.
- CAMPOS, A. T. et al. Prediction of free-stall occupancy rate in dairycattle barns through fuzzy sets. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.1, p.1079-1089, 2013.
- CERVERA, C. et al. Nutrition and the Climatic Environment. In **The Nutrition of the Rabbit**, 2nd ed.; de Blas, C., Wiseman, J., Eds.; CABI Publishing: Wallingford, UK, 2010; pp. 273–295.
- CULLERE, M.; DALLE ZOTTE, A. Rabbit meat production and consumption: State of knowledge and future perspectives. **Meat Science**, v.143, p. 137-143, 2018.
- DAMASCENO, F. A. et al. Effect of thermal environment on performance of broiler chickens using fuzzy modeling. **Revista Ceres**, v. 64, n. 4, p. 337-343, 2017.
- DE OLIVEIRA CASTRO, J. et al. Modelo fuzzy para prever o consumo de ração em codornas japonesas. **Journal of Animal Behavior and Biometeorology**, v. 7, n. 1, pág. 18-24, 2020.
- EFSA (European Food and Safety Authority). The impact of the current housing and husbandry systems on the health and welfare of farmed domestic rabbits. **EFSA Journal**, v.267, p.1-31, 2005.
- FERRAZ, P. F. P. et al. Predicting chick body mass with artificial intelligence-based models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.7, p.559-568, 2014.
- FERRAZ, P. F. P. et al. Decision Trees for Predicting the Physiological Responses of Rabbits. **Animals**, v. 9, n. 11, p. 994, 2019.
- FERREIRA, R. A. et al. Estresse agudo por calor em coelhos. **Revista Brasileira de Cunicultura** 12 (1): 45-56, 2017.

FERREIRA, W. M. et al. Manual prático de cunicultura. In: **Associação Científica Brasileira de Cunicultura**. Bambuí, p75, 2012.

GOMIDE, F. et al. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações. In: **Proc. 6 th IFSA Congress-Tutorials**. 1995. p. 1-38.

HERNÁNDEZ-JULIO, Y. F. et al. Framework for the Development of Data-Driven Mamdani-Type Fuzzy Clinical Decision Support Systems. **Diagnostics** 2019, 9, 52.

JARUCHE, Y. G. et al. Efeito da densidade de alojamento sobre a homeostase térmica em coelhos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Cunicultura**, v. 1, n. 1, 2012.

JULIO, Y. F. H. et al. Fuzzy system to predict physiological responses of Holstein cows in southeastern Brazil. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, v.28, n.1, p.42-53, 2015.

KLINGER, A. C. K. et al. Entendendo o meu coelho de estimação: Um guia rápido para tutores. **Gramma**, 2019.

KLINGER, A. C. K. et al. Capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) como suplemento em dietas para coelhos de corte Elephant grass (*Pennisetum purpureum*) as a supplement in diets for growing rabbits. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p. 70275–70281, 21 set. 2020.

LEIRA, M. H. et al. Bem-estar dos animais nos zoológicos e a bioética ambiental. **Pubvet**, v. 11, p. 538-645, 2017.

LOURENÇONI, D. et al. Productive responses from broiler chickens raised in different commercial production system-part II: Impact of climate change. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 1, p. 11-17, 2019.

MIRZAEI-GHALEHV, E. et al. Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.110, p.187-195, 2015.

MOURA, A. S. A. M. T. Rabbit Production in Latin America. In: **American Rabbit Congress**, 4. Cordoba - Argentina, 2010.

PONCIANO, P. F. et al. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 3, p. 446-458, 2012.

ROCA, T. Aspectos fundamentales de cunicultura. In: **Anais do 1º Congresso de Cunicultura de las Américas**. 1998.

SCHIASSI, L. et al. Modelagem fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.140-146, 2015.

SILVA, M. A. J. G. Modelagem do consumo alimentar e padrões comportamentais de coelhos Nova Zelândia Branco submetidos a desafios crônicos por altas temperaturas. 2019. 100 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

TAVARES, G. F. Modelagem matemática e sistemas inteligentes para predição do comportamento alimentar de suínos nas fases de crescimento e terminação. 2017. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo.

TAVARES, G. F. et al. Fuzzy modeling as a tool for the prediction of daily weight gain in broiler chickens. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 4, n. 2, p. 32-38, 2020.

VICENTE, I. A. M. P. et al. Educação Continuada de adultos: Noções de alimentação saudável e manipulação de alimentos. **Revista Brasileira de Extensão Universitária**, v. 9, n. 1, p. 17-25, 2018.