**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Modelagem matemática e sistemas inteligentes para predição do
comportamento alimentar de suínos nas fases de crescimento e
terminação**

Guilherme Farias Tavares

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2017**

Guilherme Farias Tavares
Engenheiro Agrícola e Ambiental

**Modelagem matemática e sistemas inteligentes para predição do
comportamento alimentar de suínos nas fases de crescimento e terminação**

Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JARBAS HONORIO DE MIRANDA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Tavares, Guilherme Farias

Modelagem matemática e sistemas inteligentes para predição do comportamento alimentar de suínos nas fases de crescimento e terminação / Guilherme Farias Tavares. versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

66 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Modelagem *fuzzy* 2. Redes neurais artificiais 3. Zootecnia de precisão I.
Título

DEDICATÓRIA

A todos aqueles que buscam realizar um sonho e persistem durante o caminho, qualquer que sejam os contratempos.

Aos meus pais e irmão, por todo amor envolvido e confiança de que tudo daria certo.

Aos meus avós por todo exemplo de vida e amor que me deram, vocês são a base do que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todo auxílio nos momentos difíceis e por sempre me mostrar o caminho correto a ser seguido. Por sempre me abençoar e acompanhar.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de estudos que tanto me auxiliou durante esse período.

Aos meus pais, Luiz e Lucimara, que me deram toda a estrutura e oportunidade para alcançar meus objetivos. Por todo amor, carinho, compreensão, incentivo e confiança que me fortalece todos os dias. Ao meu irmão Gustavo, meu grande amigo e companheiro, por ser essa pessoa amorosa, que você continue amando os animais dessa maneira. Seja curioso, sempre.

À minha família, principalmente meus avós Dulcelina e Pedro, e meus tios Dulce e Pedro, por dividirem vários momentos de felicidade e alegria. Por todo amor envolvido.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jarbas Honório de Miranda, por me receber de mente aberta e colaborar para que eu continuasse fazendo aquilo que amo.

À Dra. Tami Brown-Brandl por colocar sua confiança em mim e disponibilizar uma riqueza de dados, pela orientação dada e parceria formada.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Biosistemas por toda a ajuda e ensinamento dado, em especial a Prof. Dra. Késia Oliveira da Silva Miranda, às secretárias Davilmar, Ilze e Ângela, ao técnico Chiquinho e as colaboradoras Elô e Ester.

Aos meus amigos, eternos professores, do ensino médio e graduação por todo ensinamento e paciência ao longo dos anos, vocês me transformaram em um ser humano que realmente se preocupa com o futuro. Em especial as professoras Regina, Solange e Silvana do Colégio da Polícia Militar e os professores Welington, Leonardo e Leandro da UFMT.

Aos meus companheiros de viagem, os quais sempre estiveram presentes em minha vida com o apoio e amor, Aninha, Carol, Monize, Jonathan, Karol, Anna Laura, Lillian e Anna.

Ao meu melhor amigo Roberto Carlos por todo auxílio, cumplicidade e paciência (e muita) ao longo de todo esse período.

Aos novos amigos formados nessa etapa. Guilherme, Will, Jack, Aline e Thaís, por me acolherem e, principalmente, por construírem novas histórias comigo. Natália e Karina, por todas as risadas, amizade e “conspirações”. Patrycia e Taila pela alegria que vocês trazem à minha vida, pelas risadas e pelo amor. Aos meus amigos Paulo, Gui, Saladinha, Tixa, Dani, Yuki, Érica Ito, Érica, por estarem presentes.

Aos amigos do GPEAS e aqueles que passaram por aqui, Luciano, Katarina e, principalmente, minha amiga Laís por toda amizade, conversas, risadas, indignações, por ser essa pessoa incrível e por me aturar todos os dias.

Ao Grupo Bolsistas Capes do Facebook por tantos conselhos, trocas de experiências e risadas, por mostrarem que a pós-graduação também sabe fazer ciência com memes.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma maneira, contribuíram para que eu estivesse aqui hoje.

Muito Obrigado!

EPÍGRAFE

Não, não é tudo um acaso. Se fosse, o universo nos abandonaria à própria sorte. E o universo não faz isso. Ele cuida das suas criações mais frágeis de formas que não vemos [...]. Talvez seja uma loteria, mas o universo deixa tudo certo no final. O universo cuida de todos os seus pássaros.

R.J. Palácio

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. AMBIENTE TÉRMICO PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO	15
2.2. COMPORTAMENTO ALIMENTAR DE SUÍNOS.....	17
2.3. FERRAMENTAS DE ZOOTECNIA DE PRECISÃO UTILIZADAS NA PRODUÇÃO ANIMAL	18
2.3.1. Sistemas <i>fuzzy</i>	18
2.3.1.1. Estrutura e aplicação	18
2.3.2. Redes Neurais Artificiais (RNA)	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL E GRANJA EXPERIMENTAL.....	23
3.2. COLETA DOS DADOS	24
3.2.1. Dietas experimentais	26
3.2.2. Índices de conforto térmico para suínos.....	26
3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.....	27
3.4. MODELO MATEMÁTICO	29
3.5. DESENVOLVIMENTO DO MODELO <i>FUZZY</i>	29
3.6. REDES NEURAS ARTIFICIAS (RNA).....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO	33
4.2. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ALIMENTAR	36
4.2.1. Análise multivariada do comportamento alimentar	40
4.3. MODELAGEM MATEMÁTICA E SISTEMAS INTELIGENTES PARA PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO ALIMENTAR DE SUÍNOS	45
4.3.1. Modelagem matemática	45
4.3.2. Sistema <i>fuzzy</i>	46
4.3.2.1. Variáveis de entrada e saída	46
4.3.2.2. Sistemas de Regra.....	48
4.3.3. Rede Neural Artificial (RNA)	50
5. CONCLUSÕES	54
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

RESUMO

Modelagem matemática e sistemas inteligentes para predição do comportamento alimentar de suínos nas fases de crescimento e terminação

A suinocultura é uma atividade de grande importância em termos mundiais e de Brasil. Entretanto, por serem animais homeotérmicos, algumas alterações no ambiente térmico de alojamento podem alterar suas respostas fisiológicas e comportamentais para manutenção da temperatura interna. Portanto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o comportamento alimentar de suínos, mediante a influência do ambiente térmico, nas fases de crescimento e terminação para diferentes linhagens comerciais e sexo. Além disso, buscou-se o desenvolvimento de modelos matemáticos e sistemas inteligentes para predição do tempo em alimentação (TM, min dia⁻¹) dos suínos. Os dados foram coletados em uma granja experimental de suínos, localizada na cidade de Clay Center, Nebraska, Estados Unidos. O período experimental contemplou duas estações durante o ano 2015/2016 (verão e inverno), totalizando 63 dias (9 semanas) de informações coletadas para cada estação. Os animais alojados foram de três linhagens comerciais distintas: Landrace, Duroc e Yorkshire. Cada baia apresentava composição mista, sendo alojados 40 animais de diferentes linhagens comerciais e sexo. No total, foram confinados 240 animais, sendo 80 animais para cada linhagem comercial entre machos castrados e fêmeas. Foram registrados dados de temperatura do ar (Tar, °C), temperatura do ponto de orvalho (Tpo, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) a cada 5 minutos no interior da instalação. Para TM, os dados foram coletados e registrados a cada 20 segundos por meio de um sistema de coleta de dados por rádio frequência. O conforto térmico foi analisado a partir do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e a Entalpia Específica (H, kJ kg⁻¹ de ar seco). Para avaliar a relação entre o ambiente térmico e TM, foi utilizada estatística multivariada por meio de análise de componentes principais (ACP) e agrupamento para obtenção de padrões e seleção de variáveis para entrada nos modelos. O modelo *fuzzy* e as redes neurais artificiais foram desenvolvidos em ambiente MATLAB® R2015a por meio dos *toolboxes Fuzzy* e *Neural Network*, com o objetivo de prever TM, tendo como variáveis de entrada: linhagem comercial, sexo, idade e ITU. De uma maneira geral, as médias de Tar estiveram dentro da zona de termoneutralidade (ZCT) em todo período experimental, sendo que apenas a UR apresentou valores abaixo da UR crítica inferior. Para o ITU, apenas no verão foram encontrados valores acima da ZCT, entretanto, esses valores estiveram abaixo do ITU crítico superior. Diante da análise dos resultados, pôde-se observar em relação ao comportamento alimentar, que a fêmea Landrace apresentou o menor tempo em alimentação com médias de 42,19 min dia⁻¹ e 43,73 min dia⁻¹ para o inverno e verão, respectivamente, seguido do macho castrado de mesma linhagem. Enquanto as demais linhagens apresentaram valores acima de 60 min dia⁻¹. Não foi observado correlação linear significativa entre o ambiente térmico e TM uma vez que os animais estiveram dentro de sua ZCT ao longo de todo período experimental, indicando que o comportamento alimentar foi influenciado principalmente pelos fatores homeostáticos e cognitivos-hedônicos. A estatística multivariada dividiu os animais em 8 grupos. Foi observado que animais de linhagens e sexos distintos se comportaram da mesma maneira, dificultando a modelagem matemática. Entretanto, alguns grupos apresentaram maior quantidade de animais de determinada linhagem e sexo, sendo estes utilizados como “grupos padrão” para o desenvolvimento do modelo *fuzzy* e a rede neural artificial. O modelo *fuzzy* apresentou R² de 0,858 quando utilizado os dados do grupo padrão, entretanto, para todos os valores o R² foi de 0,549. Já a rede neural apresentou um R² de 0,611 para os dados completos e R² de 0,914 para o “grupo padrão”. Portanto, a rede neural artificial mostrou-se como uma ferramenta de maior precisão e acurácia na predição do comportamento alimentar de suínos nas fases de crescimento e terminação.

Palavras-chave: Modelagem *fuzzy*, Redes neurais artificiais, Zootecnia de precisão.

ABSTRACT

mathematical modeling and intelligent systems for predicting feeding behaviour of growing-finishing pigs

The swine production is an activity of great importance to Brazil and to the world. However, because they maintain a constant body temperature and, alterations in the thermic accommodation environment can directly affect their physiological and behavioral responses for maintaining the internal temperature. Thus, the objective of this study was to access the feeding behavior of growing-finishing pigs of different sirelines and gender and its relationship with climate variables (thermic environment). Furthermore, mathematical models based on classic logic was developed as well as an intelligent system for predicting the total time spent eating (TM, min day⁻¹). The data was collected in an experimental farm located in Clay Center, Nebraska, United States. The experimental period contemplated two seasons (summer and winter), totalizing 63 days (9 weeks) of information collected for each season. The housed animals were from three different commercial sirelines: Landrace, Duroc and Yorkshire. Each pen presented a mix composition, being housed 40 animals of different sirelines and gender. In total, there were 240 housed animals, being 80 animals for each sireline among barrows and gilts. The data registered were air temperature (Tar, °C), dew point temperature (Tpo, °C) and relative humidity of the air (UR, %) every 5 minutes inside the facility. For TM, the data were collected and registered every 20 seconds by a radio frequency data collection system. The thermal comfort was analyzed from the Temperature and Humidity Index (THI) and Specific Enthalpy (H, kJ kg⁻¹ of dry air). In order to evaluate the relationship between the thermic environment and TM, the multivariate statistics through principal component analysis (PCA) and grouping was utilized for obtaining the selection standards of variables to enter in the models. The fuzzy model and the artificial neural networks were developed in a MATLAB® R2015a environment through the Fuzzy and the Neural Network toolboxes with the objective to predict TM, having as entry variables: sireline, gender, age and THI. On the whole, the Tar averages were inside the thermo-neutral zone (ZCT), however, these values were below the superior critic THI. In the face of the results analysis, it could be observed in relation to the feeding behavior that the Landrace gilt presented the shortest time eating with averages of 42.19 min day⁻¹ and 43.73 min day⁻¹ for winter and summer respectively followed by the barrow from the same sireline, while the other sirelines presented values above 60 min day⁻¹. It was not observed a significative linear correlation between the thermic environment and TM once the animals were inside their ZCT throughout all the experimentation period, indicating that the feeding behavior was influenced mainly by the homeostatic and cognitive-hedonic factors. The multivariate statistics divided the animals in 8 groups, being observed that animals of different sirelines and gender behave the same way throughout the experimentation period, making the mathematical modeling difficult. However, some groups presented a bigger amount of animals of determined sireline and gender, being utilized as “standard groups” for the development of the fuzzy model and the artificial neural network. The fuzzy model presented an R² of 0,858 when utilizing the “standard group” data, however, for all the values the R² was 0.549. In the other hand the neural network presented an R² of 0.611 for the complete data and an R² of 0.914 for the “standard group”. Thus, the artificial neural network appeared to be a tool of a better precision and accuracy when predicting the feeding behavior of pigs on growing-finishing phases.

Keywords: Fuzzy modeling, Artificial neural network, Precision livestock.

Lista de figuras

Figura 1. Resposta fisiológica de suínos em função do estresse térmico	16
Figura 2. Representação de um conjunto <i>fuzzy</i> com funções de pertinência triangular e trapezoidal em função da temperatura.....	19
Figura 3. Desenvolvimento computacional fuzzy	19
Figura 4. Comparação entre um neurônio artificial e um neurônio biológico e divisão de suas funções	20
Figura 5. Imagens obtidas via satélite do centro de pesquisa em que os dados foram coletados.	23
Figura 6. Granja experimental para suínos – U. S. Meat Animal Research Center, Clay Center, Nebraska, EUA	23
Figura 7. Composição dos animais alojados durante o período experimental.....	24
Figura 8. Esquema do painel para a coleta de dados de comportamento alimentar e o comedouro instalado.	25
Figura 9. Médias diárias de temperatura do ar (Tar, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) durante as estações de verão (A) e inverno (B).....	33
Figura 10. Médias diárias do índice de temperatura e umidade (ITU) durante as estações de verão e inverno e zona de conforto térmico (ITU_ZCT).....	34
Figura 11. Médias diárias de entalpia específica (H) durante as estações de verão e inverno e zona de conforto térmico (H_ZCT).....	34
Figura 12. Tempo médio em alimentação (min dia ⁻¹) para cada linhagem comercial (D – Duroc, L – Landrace e Y – Yorkshire) e sexo (F – feminino e M – masculino) durante as estações de verão (A) e inverno (B).	36
Figura 13. Médias horárias do tempo médio em alimentação (min dia ⁻¹) para cada linhagem comercial (D – Duroc, L – Landrace e Y – Yorkshire) e sexo (F – feminino e M – masculino) e médias horárias do valor de entalpia específica (H, kJ kg ⁻¹ de ar seco) durante as estações de verão (A) e inverno (B).	38
Figura 14. Proporção da variação de cada componente principal	40
Figura 15. Componentes principais da temperatura do ar (Tar), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU), entalpia específica (H), idade do animal e o comportamento alimentar das três linhagens comerciais: Duroc (D), Landrace (L) e Yorkshire (Y) para os dois sexos: machos castrados (M) e fêmeas (F).	41
Figura 16. Tempo médio em alimentação (TM) dos grupos formados por meio da análise de agrupamentos durante o período experimental.	42
Figura 17. Tempo médio em alimentação por hora (TMH) dos grupos formados por meio da análise de agrupamentos durante o período experimental.	43
Figura 18. Tempo médio em alimentação por período (TMP) dos grupos formados por meio da análise de agrupamentos durante o período experimental.	44
Figura 19. Curvas de pertinência para as variáveis de entrada (A) linhagem comercial – Duroc, Landrace e Yorkshire, (B) sexo – fêmeas e machos castrados, (C) idade dos animais (dias) e (D) ITU; e para variável de saída (E) tempo médio no comedouro (TM, min dia ⁻¹).	47
Figura 20. Tempo médio comendo simulado de acordo com as variáveis de entrada sexo, linhagem comercial, ITU e idade (dias).....	48
Figura 21. Regressão linear para o tempo médio diário em alimentação (TM), em função de todos os valores preditos pelo modelo <i>fuzzy</i> (TMFuz) e os valores obtidos em experimentação (TMObs).	49
Figura 22. Regressão linear para o tempo médio diário em alimentação (TM), em função dos valores preditos pelo modelo <i>fuzzy</i> (TMFuz) e os valores considerados como padrão para as regras (TMPad).	50

- Figura 23.** Gráfico do andamento do treinamento da rede neural para 12 neurônios (A) e 50 neurônios (B) na camada escondida. 51
- Figura 24.** Relação funcional entre os dados normalizados para o tempo diário gasto em alimentação (TM) verificados experimentalmente (alvo) e os valores estimados pela rna (saída) 52
- Figura 25.** Andamento do treinamento da rede neural para o comportamento padrão (A) e relação funcional entre os dados verificados experimentalmente (alvo) e os valores estimados pela rna (saída) (B)..... 52

Lista de tabelas

Tabela 1. Temperatura crítica inferior (TCI), zona de conforto (ZCT) e temperatura crítica superior (TCS) para suínos nas fases de crescimento e terminação.	17
Tabela 2. Tabela nutricional da ração disponibilizada para os animais durante o período experimental	26
Tabela 3. Parâmetros de treinamento utilizados para o algoritmo <i>backpropagation</i>	32
Tabela 4. Médias horárias, mínimos e máximos de temperatura do ar (Tar, °C), umidade relativa (UR, %), índice de temperatura e umidade (ITU) e entalpia específica (H, kJ kg ⁻¹ de ar seco) para as estações de inverno e verão.	35
Tabela 5. Desvios-padrão (min dia ⁻¹) para cada linhagem comercial (D – Duroc, L – Landrace e Y – Yorkshire) e sexo (F – feminino e M – masculino) durante as semanas experimentais (S1 a S9) para as estações de verão e inverno.....	37
Tabela 6. Correlação e coeficientes de pearson para as variáveis linhagem comercial, sexo, semana, idade (dias), temperatura do ar (Tar, °C), umidade relativa do ar (UR, %), índice de temperatura e umidade (ITU), entalpia específica (H, kJ kg ⁻¹ de ar seco) e tempo médio em alimentação (TM, min dia ⁻¹).	39
Tabela 7. Distribuição dos grupos formados pela análise de agrupamento e o tempo médio (TM) e desvio-padrão (DP) em alimentação durante o período experimental para machos castrados (M) e fêmeas (F).	42
Tabela 8. Distribuição dos grupos formados pela análise de agrupamento e o tempo médio horário (TMH) em alimentação durante o período experimental para machos castrados (M) e fêmeas (F). ...	44
Tabela 9. Equações de regressão múltipla com os respectivos coeficientes de determinação (R ²) para o tempo médio em alimentação (tM, min dia ⁻¹) em função da idade do animal (ID, dias) e o índice de temperatura e umidade (ITU)	45

1. INTRODUÇÃO

A agropecuária é uma atividade importante para a economia, principalmente quando se trata da geração de emprego e renda e, dentro desse contexto, a suinocultura ganha papel de destaque entre os diversos setores produtivos. O Brasil ocupa a posição de quarto maior produtor e exportador de carne suína e, em 2015, foram produzidas cerca de 3,643 milhões de toneladas de carne suína, das quais 84,8% foram destinadas para o consumo interno e 15,2% para exportação. Em comparação aos Estados Unidos, terceiro maior produtor e segundo maior exportador, foram produzidos 11,158 milhões de toneladas de carne suína para o mesmo ano (ABPA, 2016).

Apesar dessa importância para o mercado mundial, alguns fatores ambientais podem afetar a produção de suínos no país, uma vez que esses animais possuem sistema termorregulatório precário, tornando-os sensíveis a ambientes termicamente desconfortáveis. Dessa forma, elementos térmicos como temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento podem afetar negativamente o desempenho zootécnico destes animais dependendo da condição térmica de alojamento, fazendo com que ocorram alterações em relação à sua fisiologia e comportamento.

Dentre as alterações comportamentais estão aquelas relacionadas, principalmente, à agressividade, pois um animal em ambiente desconfortável apresenta comportamento agonístico devido ao estresse; e a alimentação, visto que animais em desconforto térmico por calor deixam de consumir alimentos já que estes, posteriormente, irão ser transformados em energia na forma de calor metabólico aumentando ainda mais o seu estado de desconforto. Com isso, os animais passam a ingerir maior quantidade de água, fazendo com que o seu desempenho zootécnico e, conseqüentemente, a massa corporal final sejam alterados negativamente. Além disso, outros fatores como a linhagem comercial, o sexo, a tipologia de instalação, a densidade e a configuração de alojamento podem alterar esse comportamento.

O comportamento alimentar, está relacionado diretamente com o custo da produção suinícola já que 65% a 70% do gasto total da produção advém do custo com a nutrição animal (FERREIRA et al., 2013). Além disso, estima-se que sejam desperdiçados entre 2% e 20% de toda a ração (MANZKE et al., 2011). Nesse contexto, a zootecnia de precisão contribui com a introdução de novas técnicas e ferramentas, as quais visam utilizar estratégias de alimentação, aumento de produtividade, segurança alimentar, conforto e bem-estar animal.

A utilização dessas ferramentas e/ou técnicas é direcionada para ações mais precisas e auxiliam numa melhor tomada de decisão, pois deixam de utilizar “valores médios” como as ferramentas matemáticas que se utilizam da lógica clássica em que existe apenas duas possibilidades de resposta: o verdadeiro ou o falso.

Além disso, o crescente número de informações adotadas atualmente para garantia de uma produção animal rentável, aumenta a complexidade e o entendimento das relações e inter-relações das variáveis com o objetivo proposto, ou seja, para o correto entendimento do desempenho zootécnico de um animal, nesse caso o suíno, torna-se necessário o conhecimento de variáveis que afetam sua condição de crescimento, tanto físicas quanto fisiológicas e comportamentais, fazendo

com que o uso de sistemas inteligentes apareça como sendo um facilitador das tomadas de decisão, pois transformam uma grande quantidade de dados em informação.

Dentre essas novas ferramentas, pode-se citar as Redes Neurais Artificiais (RNA), que são modelos computacionais e matemáticos, capazes de gerar informações após um treinamento específico e, dessa forma, processar informações de maneira semelhante ao sistema nervoso biológico, pois possui em sua base o uso de neurônios artificiais capazes de gerar informações mesmo que as relações sejam não-lineares. Além dessa ferramenta, pode ser citada também a modelagem computacional baseada na teoria dos conjuntos *fuzzy*, a qual tem contribuído para o avanço de pesquisas em diversas áreas, pois atrela uma grande quantidade de variáveis e ainda permite a inferência de especialistas a partir da formação da sua base de regras.

Portanto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o comportamento alimentar de suínos, mediante a influência do ambiente térmico, nas fases de crescimento e terminação para três linhagens distintas: Duroc, Landrace e Yorkshire, tanto para fêmeas quanto para machos castrados. Além disso, buscou-se o desenvolvimento de modelos matemáticos computacionais (modelagem *fuzzy* e redes neurais artificiais) e sua aplicação na predição do tempo em alimentação de suínos. Por fim, verificou-se a eficiência desses sistemas inteligentes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ambiente térmico para suínos nas fases de crescimento e terminação

O ambiente térmico é de suma importância para o animal, nesse sentido, Baêta e Souza (2010), definiram que o animal se porta como um sistema termodinâmico aberto, ou seja, está em constante troca de energia com o ambiente. Portanto, os fatores ambientais externos produzem variações internas no animal, como a necessidade de mudanças comportamentais e ajustes fisiológicos para o balanço de calor.

Segundo Rodrigues et al. (2012), um dos principais desafios da suinocultura em países de clima tropical, como o Brasil, são os altos valores de temperaturas e umidade relativa do ar no interior das instalações que limitam, não apenas o bem-estar do animal, mas também o seu desempenho produtivo. Dentro da amplitude térmica do ambiente, existe um intervalo em que a temperatura interna do animal permanece praticamente constante, denominada “zona de conforto térmico (ZCT)” ou “zona de termoneutralidade”.

O animal alojado em um ambiente dentro da ZCT, geralmente, apresenta o máximo potencial genético de desempenho produtivo. Dessa forma, o desempenho ideal deve corresponder a maximização da parcela de energia para o crescimento do suíno de maneira a mantê-lo vivendo dentro de sua temperatura efetiva, não havendo trocas de energia para compensação do frio ou calor.

Dessa forma, quando o animal se encontra dentro de uma zona de equilíbrio, representada pelo conforto térmico, a maior quantidade de energia consumida será revertida em ganho de massa corporal. Entretanto, caso essas exigências não sejam cumpridas ocorrerão perdas produtivas, devido ao consumo da energia que seria utilizada para produção de carne. O calor gerado pelo suíno depende principalmente do seu tamanho, da energia metabolizável ingerida e da eficiência da utilização da energia contida nos alimentos (BRUCE; CLARK, 1979).

Para Wolp et al. (2012), dentre os animais domésticos, os suínos são os mais sensíveis às altas temperaturas devido, principalmente, ao sistema termorregulador precário, glândulas sudoríparas queratinizadas, camada de gordura subcutânea e metabolismo elevado. Quando as condições ambientais estão acima daquelas consideradas de termoneutralidade ocorre redução da atividade física dos suínos (HYUN et al., 2005); diminuição da produção interna de calor, o que pode afetar no comportamento alimentar (DEBRECÉNI et al., 2014) e migração do calor metabólico para superfície corporal a fim de perder calor para o ambiente por processos sensíveis de troca. Dessa forma, o animal deixa de se alimentar e passa a consumir maior quantidade de água, além de apresentar comportamentos como agressividade.

Segundo Baêta e Souza (2010), o principal meio de perda de calor latente nos suínos é via evaporação a partir do trato respiratório do animal, já que a perda de calor por meio do suor na pele é insignificante. Isto posto, em ambientes com temperatura em torno de 9°C, as trocas de calor por evaporação se mantêm na faixa de 9%, enquanto em temperaturas acima de 34°C, as trocas por evaporação representam de 30 a 60% (MOUNT, 1975).

Para Hannas (1999), esse limite de frio e calor para a termorregulação do suíno é determinado pela capacidade de produção de calor em baixas temperaturas e capacidade de sua dissipação em ambientes quentes, sendo essas delimitações denominadas de temperatura crítica inferior (TCI) e superior (TCS). Portanto, dentro da ZCT não há sensação de frio ou calor e o desempenho animal é otimizado (BAÊTA; SOUZA, 2010), já fora da zona de termoneutralidade o suíno modifica sua resposta fisiológica e comportamental, afetando diretamente no seu comportamento alimentar e no ganho de massa corporal (Figura 1).

Figura 1. Resposta fisiológica de suínos em função do estresse térmico
Fonte: Adaptado de Cordeiro (2003)

Observa-se que o animal, dentro da ZCT apresenta poucas flutuações em relação ao comportamento alimentar, uma vez que não necessita de adaptações fisiológicas para manter sua temperatura metabólica constante. Já nas zonas abaixo da TCI, o suíno necessita consumir maior quantidade de alimento para manter a temperatura do corpo. Dessa mesma maneira, em ambientes acima da TCS, o animal passa a consumir menor quantidade de ração para manter essa mesma temperatura corporal e, conseqüentemente, possui menor ganho de massa corporal.

Além do ambiente em que o animal está alojado, fatores como raça, idade, peso, tamanho podem afetar no conforto e comportamento do animal. Assim, Ferreira (2012) define as fases de criação de um sistema intensivo de produção de suínos, sendo dividido em seis fases distintas: amamentação, creche, crescimento, terminação, pós-terminação e reprodução. Os animais na fase de crescimento apresentam idade de 63 a 105 dias, com massa final média de 55 kg, já suínos na fase de terminação possuem cerca de 100 kg e idade entre 105 a 140 dias.

De maneira geral, podem ser conferidos na Tabela 1 os valores de temperatura da ZCT, TCI e TCS encontradas por diversos autores nas fases de crescimento e terminação, sendo utilizado como referência a umidade relativa do ar média de 70%, com Umidade Relativa Crítica Inferior (UCI) de 60% e Umidade Relativa Crítica Superior (UCS) de 80% (BAÊTA; SOUZA, 2010).

Tabela 1. Temperatura Crítica Inferior (TCI), zona de conforto (ZCT) e Temperatura Crítica Superior (TCS) para suínos nas fases de crescimento e terminação.

Referência	Fase de criação					
	Crescimento			Terminação		
	TCI	ZCT	TCS	TCI	ZCT	TCS
ASHRAE (2001)	10	15 a 22	25	-	-	-
Perdomo et al. (1985)	15	18 a 24	26	12	12 a 21	26
Ferreira (2012)	5	16 a 20	27	5	12 a 18	27
Silva (1999)	5	16 a 18	27	5	12 a 18	27
Baêta e Souza (2010)	8	18 a 21	30	5	15 a 18	27
Mostaço (2014)	7	16 a 21	28	5	12 a 21	27

2.2. Comportamento alimentar de suínos

Segundo Brown-Brandl et al. (2004), se um animal passa a consumir maior quantidade de alimento, irá ocorrer uma produção adicional de calor que irá se originar da alimentação, digestão dos ingredientes encontrados na ração e a absorção e utilização dos nutrientes.

Brown-Brandl et al. (2013), definem como comportamento alimentar de suínos, quatro principais medições: duração da refeição, intervalo entre refeições, número de refeições por dia e tempo gasto pelo animal comendo. Além disso, também é analisado no comportamento alimentar o consumo de ração em unidade de massa.

Debrecéni et al. (2014) avaliando diversos comportamentos de suínos em ambiente de desconforto térmico por alta temperatura, aproximadamente 30°C e umidade relativa de 32,5%, verificaram que, apesar da condição do ambiente, a segunda maior atividade dos animais foi o ato de se alimentar, correspondendo a 16% dos comportamentos avaliados. Hyun et al. (2005), observaram que em ambiente de temperatura elevadas, 9,4% dos animais apresentaram o comportamento de se alimentar, enquanto em ambientes termoneutros esse valor foi de 11,5%.

Collin et al. (2001) notaram que a duração na alimentação de suínos se diferenciou de acordo com o ambiente de alojamento. Dessa maneira, animais em ambientes quentes gastaram no alimentador cerca de 3,9 min refeição⁻¹ e suínos em ambiente de conforto térmico faziam refeições com tempo médio de 5,9 minutos.

O comportamento alimentar também é modificado ao longo do dia. Durante a manhã no período entre 6h e 9h, a alimentação representou 12,11% a 19,5% dos comportamentos avaliados por Debrecéni et al. (2014). No período entre as 11h e 12h, os animais não se alimentavam, sendo que só voltariam a consumir algum tipo de alimento a partir das 13h, representando 26,78% dos comportamentos avaliados.

Quiniou et al. (2000), constataram que a ingestão de alimentos aumenta com a diminuição da temperatura. Ao diminuírem a temperatura de 22 para 12°C, o tempo gasto para se alimentar passou de 60 min dia⁻¹ para 75 min dia⁻¹. Ao aumentar a temperatura de 19°C para 29°C, verificou-se um comportamento inverso, ou seja, os animais gastaram menor tempo em alimentação, passando de 64 min dia⁻¹ para 46 min dia⁻¹.

Portanto, nota-se que o ambiente térmico pode afetar o comportamento alimentar de suínos, estando de acordo com Nienaber e Hahn (2000) que indicam que, mudanças no comportamento alimentar, podem ocorrer devido à mudança das condições térmicas de alojamento.

Brown-Brandl et al. (2013), verificaram que o tempo médio gasto por alimentação aumentou da fase de crescimento para a de terminação, passando de 24 min dia⁻¹ para 76,7 min dia⁻¹. Além disso, houve diferença significativa no comportamento alimentar de machos e fêmeas, sendo o consumo de 85 min dia⁻¹ e 71 min dia⁻¹, respectivamente. Outra importante observação foi o comportamento alimentar diferenciado de acordo com a taxa de crescimento do animal. Animais com elevado ganho de peso ($> 0,94$ kg dia⁻¹), apresentaram maior tempo médio gasto no alimentador ($79,1 \pm 0,45$ min dia⁻¹); seguido por animais com ganho de peso normal (entre 0,7 e 0,94 kg dia⁻¹), que gastaram cerca de $71,0 \pm 0,15$ min dia⁻¹; e os suínos com baixo ganho de peso diário ($< 0,7$ kg), os quais tiveram o menor tempo médio no alimentador ($63,6 \pm 0,35$ min dia⁻¹).

2.3. Ferramentas de zootecnia de precisão utilizadas na produção animal

Com a inserção da tecnologia na pesquisa do ambiente animal visando minimizar as perdas na produção, novas ferramentas como o uso da eletrônica e a tecnologia da informação, surgiram para enfocar de maneira sistêmica o bem-estar animal, a qualidade do produto final, a qualidade de trabalho dos funcionários e o ambiente final de produção.

Dessa maneira, o efeito que uma ou mais variáveis causam sobre um sistema de produção pode ser medido e ajustado se os índices desejáveis forem conhecidos. Portanto, as novas metodologias, como o uso de ferramentas matemáticas, estão sendo utilizadas para tornar viável a transformação de dados em informação a serviço da produção animal (NÄÄS; MOURA, 2009). Dentre as ferramentas da zootecnia de precisão, destacam-se o uso de modelagem matemática computacional, por meio da modelagem *fuzzy* e redes neurais artificiais.

2.3.1. Sistemas *fuzzy*

Os Sistemas *fuzzy* são baseados na lógica *fuzzy*, possuindo a capacidade de transformação de informações imprecisas em uma linguagem matemática de fácil implementação computacional (SCHIASSI, 2011). A lógica *fuzzy* é multivalorada, reconhecendo diversos valores suscetíveis a um ponto de vista ou graduação, permitindo uma generalização de informações, associadas ao gerenciamento de incertezas (SCHIASSI et al. 2008), diferente da lógica clássica aristotélica, que é bivalente, ou seja, reconhece somente um valor: verdadeiro ou falso (SHAW; SIMÕES, 2007).

2.3.1.1. Estrutura e aplicação

O conjunto *fuzzy* é representado por uma função de pertinência de maneira arbitrária, sendo estas triangulares, trapezoidais e gaussianas (ORTEGA, 2001). As curvas de pertinência do tipo trapezoidal e triangular são as mais utilizadas por apresentarem menores desvios-padrão e, conseqüentemente, melhores resultados, sendo utilizadas por diversos autores (BARIN et al. 2010; SCHIASSI et al. 2008). A Figura 2 representa um conjunto *fuzzy* com funções de pertinência do tipo

trapezoidal e triangular, em que $\mu_A(x)$ representa o grau de pertinência da variável em estudo no conjunto *fuzzy*.

Figura 2. Representação de um conjunto *fuzzy* com funções de pertinência triangular e trapezoidal em função da temperatura

Quando existem variáveis de saída e entrada, sendo atribuído para cada variável um conjunto *fuzzy* com funções de pertinência que caracterizam cada variável, tem-se o sistema *fuzzy*. Após a criação do sistema *fuzzy*, é realizada a inferência dos conjuntos *fuzzy*, que consiste na construção do sistema de regras que caracteriza as variáveis de entrada e saída com seus respectivos conjuntos *fuzzy*, podendo ser construído de acordo com base de dados e/ou opinião de especialistas, sendo compostas por conectivos lógicos – se, e, ou, então. Tendo como exemplo a seguinte regra:

SE x é A E y é B , ENTÃO z é C .

Em que A , B e C são conjuntos *fuzzy*.

Segundo Cox (1994), o sistema *fuzzy* consiste em três operações básicas: (i) fuzzificação, a qual transforma as variáveis de entrada em funções de pertinência, (ii) inferência, operação que realiza o raciocínio lógico *fuzzy* com base no sistema de regras, promovendo a saída *fuzzy* e (iii) defuzzificação, a qual traduz o valor linguístico em valor numérico (Figura 3). Para implementar o sistema *fuzzy* em linguagem computacional, pode-se utilizar de software que realize todos os procedimentos de estruturação e construção do sistema (BARROS; BASSANEZI, 2015).

Figura 3. Desenvolvimento computacional *fuzzy*

2.3.2. Redes Neurais Artificiais (RNA)

As Redes neurais artificiais (RNA) são modelos computacionais de processamento de informação que consistem em um grande número de unidades computacionais simples chamadas de neurônios, os quais são baseados no sistema nervoso biológico (BRAGA et al., 2007). Cada neurônio tem a capacidade de processar os sinais de entrada da rede, os quais são controlados por pesos sinápticos que se adaptam por um algoritmo de aprendizado durante o treinamento (TSOUKALAS; UHRIG, 1997).

A função de um neurônio artificial (NA) é muito similar ao neurônio biológico (NB). Nota-se uma divisão em quatro partes, sendo cada divisão responsável por uma função distinta (Figura 4).

Figura 4. Comparação entre um neurônio artificial e um neurônio biológico e divisão de suas funções

Dessa forma, em (I) tem-se os sinais de entrada, os quais se assemelham com os impulsos elétricos externos captados pelos dendritos no NB. Representam os valores das variáveis de entrada (X_n), devidamente normalizadas (HAYKIN, 2009; KOVÁCS, 2006; SILVA et al., 2010).

Em (II), observa-se o conjunto de pesos sinápticos (W) no NA e os dendritos no NB. Os dendritos possuem a função de captar continuamente os estímulos vindos dos outros neurônios ou do próprio meio externo (GUYTON e HALL, 2006; LENT, 2001). Por sua vez, o conjunto de pesos sinápticos representam a ponderação exercida pelo NB. Assim, cada variável de entrada (X_i) é executada por meio da multiplicação dos respectivos pesos sinápticos (W_i), ponderando as informações externas que chegam no neurônio (HAYKIN, 2009; SILVA et al., 2010).

Já em (III), nota-se a região denominada de soma no NB, com a função de processar todas as informações advindas dos dendritos com o objetivo de produzir um potencial de ativação, representado por “u” no NA, que indicará se o neurônio poderá disparar um impulso ao longo do axônio (LENT, 2001). Similar ao NB, no NA a Combinação Linear (Σ) agrega os sinais de entrada afim de produzir um valor de potencial de ativação (u); sendo que o limiar de ativação (Θ), irá especificar o patamar apropriado para que o resultado produzido pela combinação linear possa gerar um valor de disparo em direção a saída, obtendo o potencial de ativação (u), ou a soma ponderada das entradas (SILVA et al., 2010).

Em seguida, aplica-se uma função de ativação ($g(.)$), com o objetivo de limitar a saída dentro de um intervalo de valores razoáveis a serem assumidos pela sua própria imagem funcional gerando um sinal de saída (HAYKIN, 2009; SILVA et al., 2010). No NB, o axônio conduz esse sinal de saída, que representa um impulso elétrico, para seu terminal e, em seguida, esses impulsos são conduzidos para outros neurônios, representando a divisão IV, em que se obtém o sinal de saída (Y) no NA (GUYTON e HALL, 2006; HAYKIN, 2009; LEITE et al., 2010)

O aprendizado da RNA é um processo em que os parâmetros são adaptados por meio do estímulo no ambiente onde a rede está inserida (HAYKIN, 2001), ou seja, é uma adaptação da RNA às características intrínsecas de um determinado problema em que se procura cobrir um grande espectro de valores ligados às variáveis pertinentes (PEIXOTO, 2013). Esse processo permite que a RNA adquira, por meio de uma melhora gradativa, uma boa capacidade de resposta para o maior número de situações possíveis.

Essa estrutura de funcionamento apresenta grande potencial na predição de cenários, envolvendo diversas variáveis em um determinado problema, tornando-se eficiente no processo de generalização, obtendo diferentes cenários por meio das redes e tipologias adotadas para cada caso específico (CRANINX et al., 2008).

As RNAs diferenciam-se por sua arquitetura e pela forma como os pesos, associados às conexões, são ajustados durante o processo de aprendizado. Dessa forma, segundo Haykin (2009), a arquitetura é definida pelo número de camadas (única ou múltiplas), pelo número de nós em cada camada, pelo tipo de conexão entre os nós (*feedforward* ou *feedback*) e por sua tipologia.

Além disso, possui a capacidade de aproximar funções não lineares, podendo mapear relações de entrada e saída, permitindo a modelagem de um sistema conhecendo apenas os valores de entrada e saída (PEIXOTO, 2013). Para Galvão et al. (1999), devido a essa estrutura não linear, as RNAs podem trabalhar com características mais complexas as quais não são possíveis trabalhar com a estatística clássica.

Devido a essa capacidade de trabalhar com complexidades, vêm sendo utilizada na produção animal como indicativos eficientes de predição, podendo informar ao setor produtivo com mais precisão o quanto se perde na combinação de fatores importantes nestas etapas (VIEIRA et al., 2010).

Nääs et al. (2008) desenvolveram um algoritmo utilizando RNA capaz de reconhecer e classificar a vocalização de leitões em relação ao comportamento de disputa durante a amamentação e à presença de situação de risco na fase de maternidade a partir do ruído registrado, entretanto, foi

utilizado como objetivo um erro de 0,1 o que indica 10% em relação ao valor real. Apesar disso, a rede conseguiu reconhecer vocalizações relacionadas à presença de disputa por alimento em leitões e porcas alojados em gaiolas. Pandorfi et al. (2011) utilizaram da RNA para estimar índices zootécnicos com base nas variáveis temperatura do ar e frequência respiratória de fêmeas gestantes, avaliando o peso ao nascimento dos leitões e número de leitões mumificados. Para isso, foi utilizada uma rede com uma camada escondida formada por 25 neurônios e uma camada de saída formada por 2 neurônios. Foi obtido um R^2 de 0,9526, todavia, a pequena quantidade de observações pôde ter colaborado para obtenção deste resultado, pois quanto maior o número de dados observados, mais complexa torna-se o desenvolvimento da rede.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do local e granja experimental

A coleta dos dados foi realizada numa granja experimental, localizada junto ao *U.S. Meat Animal Research Center* a aproximadamente 5 km da cidade de Clay Center, Nebraska, EUA (Figura 5). O local possui latitude de 40°31'15" N, longitude de 98°03'13" W e altitude de 533 m. A região possui clima temperado frio sem estação seca e com verão quente (Dfa, segundo classificação Köppen).

Figura 5. Imagens obtidas via satélite do centro de pesquisa em que os dados foram coletados.

Fonte: Imagens © 2016 CNES/Astrium. Dados do mapa © 2016 Google

A granja experimental possuía as seguintes dimensões: 30,8 m de comprimento, largura de 12,2 m e pé direito de 3,2 m, com orientação Norte-Sul. A instalação era totalmente fechada com chapas metálicas isoladas, com presença de forro e cobertura em chapa metálica com inclinação de 1/12 (Figura 6). O piso era cimentado e com ranhuras para evitar que os animais escorreguem e facilitar a limpeza dos dejetos. Possuía sistema de arrefecimento artificial em modo túnel com pressão negativa, composto por quatro exaustores na parte traseira da instalação e placas evaporativas na parte frontal, sendo utilizados em dias de elevada amplitude térmica. Para dias frios, a instalação contava com dois aquecedores a gás distribuídos ao longo da parte norte do galpão.

Figura 6. Granja experimental para suínos – *U. S. Meat Animal Research Center*, Clay Center, Nebraska, EUA..

A instalação possuía seis baias com paredes de concreto com 32 m² baía⁻¹, sendo 6,4 m de comprimento e 5,0 m de largura, com capacidade para alojamento de 40 animais em cada uma. Eram

equipadas com um comedouro com a capacidade de alimentar 5 animais ao mesmo tempo e quatro bebedouros do tipo *nipple*.

3.2. Coleta dos dados

O período experimental, para coleta de dados, comportou duas estações distintas durante o ano (2015 e 2016): verão e inverno. Para o verão, os dados coletados compreenderam o período de 20 de junho a 21 de agosto de 2015. Já para o inverno, os dados foram coletados entre os dias 19 de janeiro a 21 de março de 2016, totalizando 63 dias (9 semanas) de informações coletadas para cada estação. Os dados referentes ao ambiente térmico foram coletados a cada 5 minutos, já aqueles referentes ao comportamento alimentar foram registrados a cada 20 segundos.

Em cada estação, foram alojados animais de três linhagens comerciais distintas: Landrace, Duroc e Yorkshire. Cada baia apresentava composição mista, ou seja, animais das três linhagens e diferentes sexos alojados numa mesma baia, sendo alojados 40 animais baia⁻¹. Dessa forma, foram confinados 240 animais estação⁻¹ no total, sendo 80 para cada linhagem comercial entre machos castrados e fêmeas (Figura 7). Os animais foram submetidos a um período prévio de aclimatização, recebendo o mesmo manejo alimentar.

Figura 7. Composição dos animais alojados durante o período experimental.

Foram registrados dados de temperatura do ar (Tar, °C), temperatura do ponto de orvalho (Tpo, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) tanto para o ambiente externo quanto para o interno. Os registros externos foram realizados a cada hora por meio de estação meteorológica automática instalada próxima à granja, enquanto dentro da instalação foram utilizados dois registradores automáticos modelo HOB0 H08 da marca Onset® com aquisição de Tar, Tpo e UR a cada cinco minutos, medindo temperaturas entre -20°C a 70°C ± 1°C e umidade relativa entre 0% a 95% ± 5%.

Referente ao comportamento alimentar, foram obtidos dados de duração de cada refeição (DR, min ref⁻¹) e seu respectivo horário, além do tempo gasto pelo animal em alimentação (TM, min dia⁻¹). Os dados foram coletados e registrados a cada 20 segundos por meio de um sistema de coleta de dados desenvolvido e instalado no *U.S. Meat Animal Research Center* (Brown-Brandl et al. 2013).

Os comedouros registraram o comportamento alimentar dos animais por meio de um sistema de identificação por rádio frequência (RFID) (Figura 8). Esse sistema foi projetado para ler

placas de identificação eletrônica (EID) de baixa frequência fixadas nos animais. Dessa forma, o sinal de radiofrequência era distribuído para uma série de antenas usando um multiplexador (MPX), o qual distribui o sinal para as demais baias e para as antenas dentro de uma mesma baia. O MPX funciona como interruptor múltiplo com oito posições distintas de chave, conectando o sinal captado pelo módulo de leitura de frequência da antena remota do sistema RFID à antena correta. A comutação do controle do MPX envia um sinal a cada 20 segundos de 0 ou 4 mA, representando 0 e 1, respectivamente. Portanto, em caso de sinal 0, é registrado que o animal não está se alimentando, enquanto para 1 o registro é de que o animal está comendo.

Figura 8. Esquema do painel para a coleta de dados de comportamento alimentar e o comedouro instalado.
Fonte: Adaptado Brown-Brandl et al. (2013).

3.2.1. Dietas experimentais

Foram utilizadas duas dietas secas distintas de acordo com o manejo nutricional e a fase de criação dos animais (Tabela 2), a ração foi disponibilizada *ad libitum* ao longo de todo o período experimental.

Tabela 2. Tabela nutricional da ração disponibilizada para os animais durante o período experimental

Nutrientes	Unidades	Fase de Criação	
		Crescimento	Terminação
Energia Metabolizável (EM)	Kcal lb ⁻¹	1487,975	1492,682
Energia Líquida (EL)	Kcal lb ⁻¹	1111,498	1125,883
Proteína Bruta	%	17,144	15,138
Gordura Bruta	%	3,992	4,023
FDN	%	7,065	7,036
Lisina, Total	%	1,137	0,972
Lisina, Dig	%	1,020	0,869
Dig Lis:EM	G Mcal ⁻¹	3,110	2,640
Fósforo, Disponível	%	0,250	0,216
Fitase, Adicionada	FTU lb ⁻¹	141,875	141,875
Valor de lodo	%	110,221	109,421
Valor de lodo do Produto	%	46,786	46,797

3.2.2. Índices de conforto térmico para suínos

O conforto térmico animal está associado, muitas vezes, a um conjunto de variáveis que afetam a ZTC. Dessa forma, com os dados de Tar, Tpo e UR, foram calculados o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e a Entalpia Específica (H, kJ kg⁻¹ de ar seco) com o objetivo de correlacionar os valores obtidos com o comportamento alimentar dos suínos no período de estudo.

Existem diversas fórmulas para o cálculo do ITU, entretanto, foi utilizada a equação (1) desenvolvida por Oliveira e Esmay (1982), a qual se baseia no uso da temperatura do ar e de ponto de orvalho como variáveis.

$$ITU = Tar + (0,36.T_{po}) + 41,2 \quad (1)$$

Em que:

ITU – Índice de Temperatura e Umidade;

Tar – Temperatura do ar (°C);

Tpo – Temperatura do ponto de orvalho (°C).

Após o cálculo, o ITU foi classificado de acordo com NWCSR (1976) em: ambiente confortável – para valores $\leq$ a 74; em alerta – entre 75 e 79 – a fim de evitar o estresse por calor no futuro; perigo – valores entre 79 e 83; e muito perigoso – para valores $\geq$ a 84. Sabe-se que a melhoria genética de suínos evoluiu muito durante os anos, entretanto, são escassos os estudos que atualizem as faixas de conforto térmico. Mesmo assim, estudos recentes utilizam essa classificação como padrão (SEGNALINI et al., 2009; WEGNER et al., 2014)

Apesar do ITU ser amplamente utilizado, trabalhos recentes trazem a entalpia específica como Índice físico para avaliar o conforto animal já que, diferentemente do ITU, utiliza de propriedades psicrométricas do ar e correlaciona com uma grandeza física, nesse caso, a quantidade de energia contida em unidade de massa de ar. Dessa forma, a entalpia específica foi calculada por meio da equação (2) desenvolvida por Rodrigues et al. (2011):

$$H = 1,006 \cdot Tar + \frac{UR}{Pa} \cdot 10^{\left(\frac{7,5 \cdot Tar}{237,3 + Tar}\right)} \cdot (71,28 + 0,0052 \cdot Tar) \quad (2)$$

Em que:

H - Entalpia específica (kJ kg⁻¹ ar seco);

Tar - Temperatura de bulbo seco do ar (°C);

UR - Umidade relativa do ar (%);

Pa - Pressão atmosférica (mmHg).

A pressão atmosférica (3) foi obtida a partir de Allen et al. (1998):

$$Pa = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot Z}{293}\right)^{5,26} \quad (3)$$

Em que:

Pa - pressão atmosférica (kPa);

Z - altitude (m).

Para a determinação das faixas de conforto térmico, foram utilizadas as médias dos valores de temperatura e umidade referentes à zona de conforto térmico obtidas por ASHRAE (2001), Perdomo et al. (1985), Ferreira (2012), Silva (1999), Baêta e Souza (2010) e Mostaço (2014).

3.3. Análise estatística multivariada

Para avaliar a relação entre os elementos climáticos e os índices de conforto térmico no comportamento alimentar dos suínos, foi utilizada estatística multivariada para obtenção de padrões e seleção de variáveis para entrada do modelo *fuzzy* desenvolvido.

Para explicação das alterações multivariadas do comportamento alimentar dos suínos durante o período experimental, foi utilizada a análise de componentes principais (ACP) por meio do algoritmo interativo NIPALS (MARTENS; NAES, 1989) em que as variáveis dependentes (X), no caso o tempo gasto pelo animal em alimentação (TM), foram submetidos à equação (4).

$$X = t_1 P'_1 + \dots + t_k P'_k + \varepsilon_k \quad (4)$$

Em que:

t – vetor de pontuação;

P – peso de cada tempo gasto pelo animal comendo;

ε – resíduos para k_n componentes.

Dessa forma, o algoritmo extrai um componente principal por vez obtido iterativamente por repetidas regressões de X em t para obter os melhores P, e de X em P para obtenção dos melhores t. Além disso, a ACP permite uma diminuição das variáveis de predição e, ainda, descreve quais variáveis são mais importantes para cada componente principal e sua relação com a variável independente.

Foram realizados os testes de correlação linear de Pearson (r) para identificação e quantificação de relações lineares entre as variáveis estudadas (5) e a Análise de Cluster Hierárquico (ACH) e não-hierárquico para definição dos possíveis grupos formados pelos animais.

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{S_y} \right) \quad (5)$$

Em que:

r – correlação de Pearson;

n – número de indivíduos observados;

x_i – valor da variável x para o indivíduo i;

$\bar{x}$ - média da variável x;

S_x – desvio-padrão da variável x;

y_i – valor da variável y para o indivíduo i;

$\bar{y}$ - média da variável y;

S_y – desvio-padrão da variável y.

O coeficiente r apresenta valores entre -1 e 1, sendo que para valores negativos indica que uma variável é inversamente proporcional à outra, enquanto o valor positivo indica a relação direta. Para ACH foi utilizado o método de Ward para definir o número de grupos considerados na análise. Segundo Hair et al. (2009), o método consiste no agrupamento hierárquico que permite unir unidades experimentais a partir da variância de maneira que ocorra minimização dos desvios-padrão entre os dados de cada grupo. Após a determinação do número de clusters, foi empregado o método não hierárquico k-means para alocar as unidades experimentais em cada grupo.

Para as análises foi utilizado o *software* estatístico MiniTab® 17.0 amplamente utilizado tanto para produção científica, quanto comercialmente.

3.4. Modelo matemático

O desenvolvimento do modelo matemático, após análise da correlação linear, foi realizado por meio de regressão múltipla, utilizada para analisar a relação entre uma variável dependente, nesse caso o tempo gasto em alimentação (TM) e as variáveis independentes, sendo utilizadas nesse caso a idade (dias) e o índice de temperatura e umidade (ITU), tendo como finalidade identificar uma função que descreva o mais precisamente possível essa relação (6).

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (6)$$

Em que:

Y – variável dependente, nesse caso TM (min dia⁻¹);

α – coeficiente fixo a partir do qual inicia Y;

β_n – coeficiente atrelado às variáveis independentes;

X_n - variáveis independentes.

Foi desenvolvido um modelo para cada linhagem comercial e sexo, uma vez que não foi possível o uso de variáveis categóricas em regressões múltiplas. Para a entrada dos modelos, assumiu-se a padronização dos dados por meio da subtração da média e divisão pelo desvio-padrão. Dessa forma, o conjunto de dados apresentou média igual a zero e desvio-padrão igual a um, facilitando a comparação dos conjuntos de dados.

A precisão e qualidade dos ajustes dos modelos foram obtidos por meio do coeficiente de determinação (R^2) que determina a variação percentual da variável resposta explicada pela relação com as variáveis independentes.

3.5. Desenvolvimento do modelo *fuzzy*

O modelo *fuzzy* foi desenvolvido em ambiente MATLAB® R2015a por meio do *toolbox Fuzzy*, com o objetivo de prever o tempo médio diário gasto no comedouro pelos suínos (TM, min dia⁻¹) nas fases de crescimento e terminação.

As variáveis de entrada foram estabelecidas de acordo com os métodos estatísticos adotados para separação e seleção de variáveis, uma vez que não foram encontradas informações condizentes na literatura sobre o comportamento alimentar das três linhagens estudadas, obtendo um modelo do tipo MISO (múltiplas entradas e uma saída). Dessa forma, as variáveis de entrada foram definidas como: variáveis categóricas – linhagem comercial (Duroc, Landrace e Yorkshire) e sexo (fêmea e machos castrados); e variáveis ordinárias – idade (fases de crescimento e terminação) e índice de temperatura e umidade (ITU), obtendo como variável de saída o tempo gasto em alimentação (TM, min dia⁻¹).

Na análise, foi utilizado o método de inferência de Mamdani o qual traz um conjunto *fuzzy* como resposta, sendo esse originado a partir do operador mínimo pela combinação dos dados de entrada com seus respectivos graus de pertinência, e operador máximo, pela superposição das regras (LEITE et al., 2010). Em outras palavras, em cada regra (R) da base de regras *fuzzy*, a

condicional “Se X é A então Z é B” é modelada pela aplicação mínimo ($\wedge$), adotando-se t-norma $\wedge$ para conectivos “E” e t-conorma V (máximo) para conectivos “OU” (BARROS; BASSANEZI, 2015).

A defuzzificação foi realizada por meio do método do centro de gravidade, o qual considera todas as possibilidades de saída, transformando em valor numérico o conjunto *fuzzy* originado pela inferência (LEITE et al., 2010). Esse método dá a média das áreas de todas as figuras que representam os graus de pertinência de um subconjunto *fuzzy* (BARROS; BASSANEZI, 2015).

Após a simulação do modelo com os dados experimentais obtidos, foi verificada a precisão do modelo *fuzzy* proposto. Para isso, além do coeficiente de determinação (R^2), foi utilizado a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE – Eq. 7) que calcula a diferença entre o valor real de um determinado ponto e o valor desse mesmo ponto na curva de melhor ajuste, sendo representado pela grandeza da própria variável; o erro percentual absoluto médio (MAPE – Eq. 8), o qual expressa a precisão como porcentagem do erro, e.g. MAPE igual a 3 indica uma predição incorreta de 3%; e o erro relativo (RE% - Eq. 9) indicando o erro percentual.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (7)$$

Em que:

n – número de indivíduos observados;

y_i – valores da variável resposta obtidos experimentalmente;

$\hat{y}_i$ – valores da variável resposta obtidos pelo modelo;

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|}{n} \cdot 100 \quad (8)$$

Em que:

n – número de indivíduos observados;

y_i – valores da variável resposta obtidos experimentalmente;

$\hat{y}_i$ – valores da variável resposta obtidos pelo modelo;

$$RE (\%) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \cdot 100 \quad (9)$$

Em que:

n – número de indivíduos observados;

y_i – valores da variável resposta obtidos experimentalmente;

$\hat{y}_i$ – valores da variável resposta obtidos pelo modelo;

3.6. Redes neurais artificiais (RNA)

A RNA foi desenvolvida em ambiente MATLAB® R2015a por meio do *toolbox Neural Network*, com o objetivo de prever o tempo médio diário gasto no comedouro pelos suínos (TM, min dia⁻¹) nas fases de crescimento e terminação.

Para a construção da rede foram utilizadas como variáveis de entrada: linhagem comercial (Duroc, Landrace e Yorkshire) e sexo (fêmea e machos castrados) e variáveis ordinárias – idade (fases de crescimento e terminação) e índice de temperatura e umidade (ITU), obtendo como variável de saída o tempo gasto em alimentação (TM, min dia⁻¹) com base nos dados coletados experimentalmente. Para as variáveis categóricas “linhagem comercial” e “sexo”, foi atribuído um valor numérico como representação da categoria. Portanto, para linhagem comercial, o número 1 representa animais da linhagem Duroc e os números 2 e 3, animais da linhagem Landrace e Yorkshire, respectivamente. Enquanto que, para sexo, o número 1 representa as fêmeas e o número 2 os machos castrados.

Após definição das variáveis, todos os dados foram padronizados para compor o processo de treinamento da RNA. Os dados sofreram a subtração da média e a divisão pelo desvio-padrão para que a média fosse igual a zero e o desvio-padrão igual a 1, facilitando a convergência durante o treinamento da rede. Além disso, foi utilizado o algoritmo *backpropagation* para o desenvolvimento da rede neural a partir da generalização da regra de aprendizado *Bayesian Regularization* que, apesar de levar maior tempo de processamento, é indicada para conjuntos de dados com um elevado número de ruídos, resultando em boa generalização, sendo o treinamento finalizado de acordo com a regularização dos pesos (MACKAY, 1992).

A regra de Bayes é obtida pela seguinte equação (10):

$$P(D|I) = \sum_H P(D|H,I)P(H|I) \quad (10)$$

Em que:

$P(D|I)$ – probabilidade dos parâmetros I ;

$P(D|H,I)$ – distribuição de probabilidade dos dados ou função de verossimilhança;

$P(H|I)$ – probabilidade *a priori*.

Dessa forma, segundo Trotta (2008) foi possível relacionar a inferência racional (probabilidade *a posteriori*) com a subjetividade das visões prévias (*a priori*) e as evidências empíricas (função de verossimilhança).

Por sua vez, o algoritmo *backpropagation* consiste no ajuste dos pesos e a polarização da rede por meio da retropropagação do erro na saída da RNA (HAYKIN, 2009). Dessa forma, a cada interação, ocorre atualização dos pesos e das polarizações da rede no sentido contrário ao do gradiente da função no ponto corrente, até a obtenção da menor soma dos quadrados do erro e, consequentemente, minimização desses erros.

Foram desenvolvidas diversas redes neurais para obtenção dos melhores resultados, utilizando todos os dados observados e aqueles selecionados como padrão referente ao

comportamento alimentar. As redes neurais desenvolvidas foram formadas por uma camada de entrada, seguida de uma camada intermediária (escondida) de neurônios não lineares e uma camada de saída de neurônios lineares. A matriz de entrada das redes com todas as observações foi de 4704 x 4, sendo 4704 observações com 4 variáveis – linhagem comercial, sexo, idade e ITU e a matriz de saída foi de 4704 x 1 representando a variável TM. Segundo um critério heurístico, foram utilizados 12 e 50 neurônios na camada escondida, respectivamente para cada RNA desenvolvida com todos os valores, e 1 neurônio para a camada de saída para todas as redes (Tabela 3).

Após a análise das RNAs formadas pelo conjunto de dados completos, foi desenvolvida uma nova rede com o uso dos valores obtidos como padrão, sendo utilizada uma matriz de entrada da rede de 2750x4 observações com as mesmas variáveis de entrada da anterior e uma matriz de saída de 2750x1. Além disso, foram utilizados os mesmos parâmetros da Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros de treinamento utilizados para o algoritmo *backpropagation*

Parâmetros	Valor
Taxa de aprendizagem	0,1
Erro	0,5
Neurônios na camada oculta	12/50
Função de transferência da camada oculta	Tangente sigmoidal
Função de transferência da camada de saída	Linear

Foram utilizados 70% dos valores do banco de dados para a realização do treinamento, 15% para validação da rede e 15% para realização do teste para todas as redes. A precisão das RNAs foi obtida por meio dos parâmetros: MSE e o coeficiente de determinação (R^2).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização do ambiente térmico

Durante a estação de verão, as temperaturas variaram entre 21,7°C e 29,0°C com umidade relativa entre 41,6% e 55,4% (Figura 9A). Para o inverno os valores de temperatura do ar estiveram entre 18,1°C e 22,2°C com umidade relativa variando entre 51,6% e 74,5% (Figura 9B).

Figura 9. Médias diárias de temperatura do ar (Tar, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) durante as estações de verão (A) e inverno (B).

De uma maneira geral, observou-se que os valores de temperatura estiveram dentro dos limites estabelecidos por Baêta e Souza (2010) durante todo o período experimental para as duas estações, entretanto, a umidade relativa do ar esteve abaixo da UR crítica inferior de 60% durante todo o período do verão e a partir da quinta semana no inverno.

Dessa forma, o animal passa a trocar calor com o ambiente de forma latente, principalmente, mediante a evaporação a partir do trato respiratório (BAÊTA; SOUZA, 2010). Ao analisar o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), nota-se que apenas no verão ele esteve acima dos 76, indicando situação de alerta (NWSCR, 1976). Enquanto no inverno o valor máximo alcançado foi de 68 caracterizando um ambiente de alojamento confortável (Figura 10).

Comparando o ITU ao longo do período experimental com a temperatura do ar, pôde-se notar o mesmo comportamento da distribuição ao longo do tempo, essa relação foi consequência da equação do ITU a qual considera, no valor final, a umidade relativa como representante de 5% a 12% (BERMAN et al., 2016).

Essa caracterização climática, torna-se importante ao se estudar o comportamento alimentar animal, já que em ambientes de estresse calórico, ocorrem mudanças fisiológicas como a diminuição da quantidade de ração consumida para manutenção da temperatura do núcleo corporal (BAÊTA; SOUZA, 2010; DEBRECÉNI et al., 2014; HYUN et al., 2005).

Figura 10. Médias diárias do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) durante as estações de verão e inverno e zona de conforto térmico (ITU_ZCT).

Ao comparar a entalpia específica (kJ kg^{-1} de ar seco) nos dois períodos estudados (Figura 11), observou-se que o índice físico esteve dentro da zona de conforto utilizando os valores de temperatura e umidade obtidos por ASHRAE (2001). Dessa forma, nota-se uma disparidade em relação ao ITU, uma vez que o índice esteve acima da ZCT para a estação de verão, entretanto, isto ocorreu pelo fato de a entalpia específica considerar um peso maior da variável UR e, ainda, a pressão atmosférica exercida no local.

Figura 11. Médias diárias de entalpia específica (H) durante as estações de verão e inverno e zona de conforto térmico (H_ZCT).

Os maiores valores de H foram de $49,0 \text{ kJ kg}^{-1}$ de ar seco e $48,1 \text{ kJ kg}^{-1}$ de ar seco para verão e inverno, respectivamente. Notou-se, ainda, que em alguns momentos ao longo do período experimental, a entalpia específica no inverno esteve acima da encontrada para o verão, esse fato ocorreu devido à UR do ambiente associada a temperatura do ar.

Ao avaliar a variação horária da Tar, UR, ITU e H durante o período experimental (Tabela 4), observou-se que, durante o verão, a temperatura do ar ficou abaixo da temperatura crítica superior (TCS) durante a manhã e tarde, enquanto no inverno a Tar está dentro da zona de conforto térmico (ZCT).

Tabela 4. Médias horárias, mínimos e máximos de temperatura do ar (Tar, °C), umidade relativa (UR, %), Índice de temperatura e umidade (ITU) e entalpia específica (H, kJ kg⁻¹ de ar seco) para as estações de inverno e verão.

Período	Hora	Inverno				Verão			
		Tar	UR	ITU	H	Tar	UR	ITU	H
Madrugada	00:00	18,8	65,0	63,0	40,6	24,3	43,7	73,0	45,1
	01:00	18,8	64,8	63,0	40,5	24,0	43,8	72,6	44,5
	02:00	18,7	64,9	62,9	40,4	23,7	43,9	72,3	43,9
	03:00	18,7	65,2	62,9	40,4	23,6	44,0	72,1	43,7
	04:00	18,6	65,9	62,8	40,5	23,5	44,0	72,0	43,4
	05:00	18,6	67,3	62,7	40,9	23,4	44,0	71,9	43,3
Média		18,7	65,5	62,9	40,5	23,8	43,9	72,3	44,0
Manhã	06:00	18,6	68,4	62,6	41,2	23,4	43,9	72,0	43,2
	07:00	18,6	69,1	62,6	41,4	23,6	44,1	72,2	43,5
	08:00	18,6	69,1	62,7	41,6	24,2	44,4	73,0	44,8
	09:00	18,9	67,2	63,1	41,7	25,2	44,1	74,1	47,2
	10:00	19,3	65,4	63,6	42,0	26,2	43,9	75,1	49,5
	11:00	19,6	63,6	64,1	42,1	27,0	43,7	76,0	51,4
Média		18,9	67,1	63,1	41,7	25,0	44,0	73,7	46,6
Tarde	12:00	20,0	62,2	64,7	42,5	27,7	43,5	76,7	53,0
	13:00	20,3	60,6	65,2	42,5	28,2	43,4	77,3	54,3
	14:00	20,4	59,3	65,4	42,2	28,5	43,3	77,7	55,2
	15:00	20,5	58,4	65,6	42,0	28,7	43,4	77,9	55,7
	16:00	20,4	58,3	65,5	41,7	28,7	43,4	77,9	55,7
	17:00	20,1	59,7	65,0	41,5	28,5	43,4	77,7	55,2
Média		20,3	59,8	65,2	42,1	28,4	43,4	77,5	54,8
Noite	18:00	19,6	60,8	64,3	40,9	28,1	43,4	77,3	54,0
	19:00	19,2	62,1	63,7	40,5	27,5	43,2	76,6	52,3
	20:00	19,0	63,2	63,4	40,6	26,4	43,2	75,5	49,8
	21:00	18,9	64,0	63,2	40,6	25,5	43,3	74,4	47,6
	22:00	18,8	64,7	63,1	40,6	24,9	43,4	73,8	46,4
	23:00	18,8	64,9	63,0	40,6	24,5	43,6	73,3	45,6
Média		19,1	63,3	63,5	40,6	26,2	43,3	75,1	49,3

Para ambas as estações, as maiores médias das variáveis foram encontradas no período da tarde, exceto para a umidade relativa no verão. No entanto, foi possível perceber que tanto as médias de temperatura quanto de UR tiveram pouca variação ao longo do dia para a estação, ou seja, o sistema de controle térmico, composto de placas evaporativas e exaustores, foi eficaz nesse quesito.

Durante a estação de verão, ainda foi observado valores médios horários de ITU acima da ZCT das 9h às 21h e de entalpia específica das 11h às 19h. Apenas para o verão esses valores foram alcançados, na estação de inverno todas as médias estiveram dentro da zona de conforto térmico, para os dois índices.

É importante que se verifique a variação do nível de conforto ao longo do dia, pois em condições de estresse térmico o animal pode alterar o seu comportamento alimentar (NIENABER; HAHN, 2000).

4.2. Análise do comportamento alimentar

Os valores de tempo médio do animal em alimentação (TM, min dia⁻¹) pode ser conferido pela Tabela 5 durante todo o período experimental.

(A)

(B)

Figura 12. Tempo médio em alimentação (min dia⁻¹) para cada linhagem comercial (D – Duroc, L – Landrace e Y – Yorkshire) e sexo (F – Feminino e M – Masculino) durante as estações de verão **(A)** e inverno **(B)**.

Durante as duas estações analisadas, pôde ser observado que a fêmea Landrace apresentou o menor tempo se alimentando com médias de 42,19 min dia⁻¹ e 43,73 min dia⁻¹ para o inverno e verão, respectivamente, seguido do macho castrado da mesma linhagem.

Apesar disso, por meio da Tabela 5 nota-se que o desvio-padrão dos dados de TM foram altos, ou seja, para animais de mesma linhagem comercial e sexo o comportamento alimentar diferiu, indicando a inexistência de um padrão absoluto em que a maioria dos animais apresentassem determinado comportamento.

Tabela 5. Desvios-padrão (min dia⁻¹) para cada linhagem comercial (D – Duroc, L – Landrace e Y – Yorkshire) e sexo (F – Feminino e M – Masculino) durante as semanas experimentais (S1 a S9) para as estações de verão e inverno.

Inverno											
Linhagem	Sexo	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	Média
D	F	16,7	18,2	18,6	19,1	19,1	21,5	23,6	19,3	19,6	19,4
	M	20,5	22,2	22,7	20,3	23,0	21,0	21,3	21,1	16,4	20,9
L	F	20,1	19,6	19,4	22,1	21,9	21,3	20,6	21,6	22,9	21,1
	M	21,0	22,7	21,7	26,3	27,6	27,0	26,5	27,7	22,3	25,4
Y	F	24,9	23,6	22,5	21,9	22,0	23,3	20,2	19,2	16,6	21,4
	M	23,8	23,6	21,2	21,5	20,6	20,2	18,8	17,5	18,7	20,7
Verão											
D	F	20,8	17,6	18,2	23,1	20,1	18,0	23,2	17,4	21,3	20,4
	M	21,7	19,5	20,0	25,9	20,2	21,0	23,3	23,9	24,9	22,7
L	F	18,6	17,1	16,4	18,8	18,8	17,6	17,3	19,1	19,4	18,4
	M	14,6	17,0	16,0	19,6	16,6	16,4	16,4	17,1	17,2	17,3
Y	F	21,3	21,5	19,9	26,0	19,4	16,8	16,9	15,0	16,1	19,7
	M	25,7	26,1	26,4	31,3	25,1	24,7	23,3	23,9	27,5	26,4

Xin et al. (2016), analisando as mesmas linhagens comerciais, observaram que suínos Landrace gastavam menor tempo no comedouro e, conseqüentemente, ingeriam menores quantidades de ração. Baumung et al. (2006), por sua vez, encontraram que o tempo médio gasto por suínos de mesma linhagem no comedouro foi de 66,1 min dia⁻¹ para uma densidade de 13 animais baia⁻¹. Dessa forma, o tempo de alimentação gasto por animais da linhagem comercial Landrace pode ter sido alterado devido à densidade e a presença de animais de outras linhagens, uma vez que Fu et al. (2016) verificaram que, em baias com maior número de animais, o tempo gasto no alimentador por animal é menor, em acordo com os resultados obtidos por Bornett et al. (2000) e Hyun et al. (2005).

Fernández et al. (2011) observaram que animais da linhagem Landrace gastavam 57,44 min dia⁻¹ se alimentando, enquanto a linhagem Duroc passava 13,91% a mais no comedouro, os autores classificaram animais da linhagem Landrace como “comedores rápidos” enquanto os que pertenciam a linhagem Duroc foram classificados como “comedores lentos” já que o consumo de ração era aproximadamente o mesmo, sendo 174,17 g e 197,16 g, respectivamente

Da mesma forma, Hyun et al. (2005), ao analisar o tempo gasto em alimentação para machos castrados da linhagem Yorkshire, observaram um tempo maior comparado aos resultados obtidos durante esse experimento (114,3 min dia⁻¹), entretanto, além das baias possuírem apenas

animais de mesma linhagem e sexo, foi utilizado uma densidade maior comparada a esse estudo ($0,9 \text{ m}^2 \text{ animal}^{-1}$). Já Do et al. (2014), analisando 16.872 animais, constatou que o tempo médio diário em alimentação de suínos Yorkshire foi semelhante ao encontrado nessa pesquisa ($61,94 \text{ min dia}^{-1}$). Além disso, machos castrados passaram mais tempo se alimentando comparado às fêmeas, corroborando com outros autores (BROWN-BRANDL et al., 2013; CAMPBELL; TAVERNER, 1988; FULLER et al., 1995).

Em relação às médias horárias de TM, notou-se um comportamento semelhante nas duas estações, ou seja, os animais se alimentaram durante mais tempo nos períodos da manhã (5h às 11h) e tarde (12h às 17h) (Figura 13).

Figura 13. Médias horárias do tempo médio em alimentação (min dia^{-1}) para cada linhagem comercial (D – Duroc, L – Landrace e Y – Yorkshire) e sexo (F – Feminino e M – Masculino) e médias horárias do valor de entalpia específica (H, kJ kg^{-1} de ar seco) durante as estações de verão (A) e inverno (B).

Foi observado picos de TM pela manhã, próximo aos encontrados por Xin et al. (2016) das 8h às 9h. Entretanto, ao analisar o período da tarde, os picos foram diferentes aos encontrados pelos mesmos autores, nesse caso, entre às 16h e 18h.

Em contrapartida, nos horários de pico, animais da linhagem comercial Landrace, apresentaram baixo tempo gasto no alimentador demonstrando uma competição mais agressiva pelo acesso ao comedouro (NIELSEN et al., 1996), podendo estar relacionado com o número de animais numa mesma baia (Hyun et al., 2001) ou pelas diferentes linhagens. Segundo Camerlink e Turner (2016), esse comportamento agonístico foi resultado da tentativa de estabelecimento de uma nova hierarquia de dominância dentro da baia e, como consequência, podem ocorrer lesões cutâneas, redução do crescimento e suprimento da resposta imunológica (CAMERLINK; TURNER, 2016; de GROOT et al., 2001; TAN et al., 1991). Essa observação demonstrou o efeito do tempo médio gasto por animais dessalinagem no comedouro, o qual foi menor comparando com Duroc e Yorkshire.

Apesar disso, verifica-se na Tabela 5 que o tempo diário médio em alimentação (TM, min dia⁻¹) apresentou uma correlação linear não significativa, de aproximadamente 10%, sendo os maiores valores em relação ao sexo (SX) e ao ITU. Gertheiss et al. (2015) ao analisar o comportamento alimentar de suínos por meio de modelos de regressão funcionais e marginais, também observaram que não houve um comportamento linear no que diz respeito à alimentação dos animais.

Tabela 6. Correlação e coeficientes de Pearson para as variáveis linhagem comercial, sexo, semana, idade (dias), temperatura do ar (Tar, °C), umidade relativa do ar (UR, %), índice de temperatura e umidade (ITU), entalpia específica (H, kJ kg⁻¹ de ar seco) e tempo médio em alimentação (TM, min dia⁻¹).

	Linhagem	Sexo	Semana	Idade	Tar	UR	ITU	H
Sexo	-0,005							
	0,804							
Semana	0,000	0,001						
	1,000	0,978						
Idade	-0,009	-0,004	0,982					
	0,667	0,857	<0,001					
Tar	0,000	0,000	-0,394	-0,384				
	0,999	0,994	<0,001	<0,001				
UR	0,000	0,000	-0,356	-0,347	-0,995			
	0,993	0,994	<0,001	<0,001	<0,001			
ITU	0,000	0,000	-0,391	-0,380	0,996	0,982		
	0,996	0,994	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		
H	0,000	0,000	-0,374	-0,364	0,998	0,999	0,989	
	0,997	0,995	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
TM	0,074	-0,180	0,090	0,070	-0,104	-0,100	-0,107	-0,105
	0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Como o ambiente térmico esteve dentro da ZCT na maior parte do tempo durante o período experimental, o comportamento alimentar de suíno é controlado por dois principais fatores internos: fatores metabólicos homeostáticos e fatores cognitivos-hedônicos (BERTHOUD; MORRISON, 2008,

JOHNSON, 2013). Segundo Johson (2013) os fatores metabólicos homeostáticos referem-se aos níveis de energia e nutrientes do animal que afetam a saciedade, e.g. balanço energético instantâneo, ou fatores diários que afetam o consumo de alimento, e.g. balanço energético diário. Já os fatores cognitivos-hedônicos referem-se ao sabor e desejo pelo alimento, além dos estímulos ambientais e afetam no consumo do alimento, e.g. palatabilidade da dieta (BERTHOULD; MORRISON, 2008).

4.2.1. Análise multivariada do comportamento alimentar

A análise de componentes principais no comportamento alimentar de suínos, possibilitou a redução da dimensão dos dados em três componentes (CP's) os quais explicam 84,7% da variância dos dados de comportamento para os animais. Massari et al. (2015) avaliando as características comportamentais de suínos nas fases de crescimento e terminação em três grupos distintos: machos castrados, fêmeas e lote misto, obtiveram 68%, 65% e 75% da variância explicada pelos CP's. Como pode ser observado pela Figura 14, para a CP1, foram explicados 54,8% dos dados, seguidos de 19,1% e 10,9% para CP2 e CP3, respectivamente. Tallet et al. (2016), avaliando o comportamento ao caminhar de suínos a partir de geometria morfométrica, obtiveram explicação de 49% da variância dos dados para os dois primeiros CP's.

Figura 14. Proporção da variação de cada componente principal

Além disso, a partir da Figura 15, foi possível observar a presença de três grupos: (i) umidade relativa, (ii) idade, animais da linhagem Landrace, sendo macho castrado e fêmea; e (iii) temperatura do ar, ITU, entalpia, animais da linhagem Duroc e Yorkshire, machos castrados e fêmeas.

Figura 15. Componentes principais da temperatura do ar (Tar), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU), entalpia específica (H), idade do animal e o comportamento alimentar das três linhagens comerciais: Duroc (D), Landrace (L) e Yorkshire (Y) para os dois sexos: machos castrados (M) e fêmeas (F).

Pôde-se perceber, ainda, a interação inversa entre a UR e a Tar indicando que, conforme a temperatura aumenta, a umidade relativa diminui. As interações entre a UR e o ITU e H também foram inversas, entretanto, para os índices de conforto térmico, a interação com a temperatura do ar foi positiva. Isso indica que os índices de conforto sofrem maior influência nos seus valores finais com o aumento da temperatura do ar (BERMAN et al., 2016).

Em relação ao comportamento alimentar, foi observado que animais da linhagem Landrace, tanto machos quanto fêmeas são fortemente influenciados pela idade ao se alimentarem, indicando que quanto maior a idade, mais tempo esses animais passam se alimentando. Esse fato pode ser reflexo da aparente competição que havia entre os animais dentro da baia, uma vez que essa linhagem passou menos tempo comendo comparado às demais.

Os demais animais apresentaram características semelhantes em relação ao comportamento alimentar e ainda estabeleceram uma forte interação positiva com a temperatura do ar e os índices de conforto térmico. Entretanto, o estudo avaliou, na maior parte do tempo, o comportamento alimentar dentro da zona de conforto térmico, sendo que para esses animais a mudança da condição térmica não alterou o seu comportamento. Notou-se que a interação é inversa a animais da linhagem comercial Landrace, indicando que esses são mais sensíveis às mudanças do ambiente interno de alojamento.

Por meio da análise de agrupamentos, foi possível a divisão dos animais de acordo com seu comportamento alimentar, dias e ITU em oito grupos característicos. Essa caracterização agrupou os animais que haviam comportamento alimentar semelhante de acordo com as demais variáveis (Tabela 6). Apesar da média de TM para linhagem comercial Landrace estar abaixo dos 50 min dia⁻¹, 34,3% dos animais tiveram comportamento semelhante aos grupos com TM médio acima desse valor. No entanto, avaliando grupos com TM médio acima de 80 min dia⁻¹ esse número de animais cai para 7,3%, demonstrando que apenas alguns animais apresentaram comportamento diferente dos

demaís para mesma linhagem. Ao analisar os demais grupos, observa-se que as linhagens Duroc e Yorkshire apresentaram comportamento semelhante e distribuição mais homogênea dentro dos grupos formados.

Tabela 7. Distribuição dos grupos formados pela análise de agrupamento e o tempo médio (TM) e desvio-padrão (DP) em alimentação durante o período experimental para machos castrados (M) e fêmeas (F).

Agrupamentos	Número de animais						Total	TM ± DP (min dia ⁻¹)		
	Duroc		Landrace		Yorkshire					
	M	F	M	F	M	F				
Grupo 1	11	11	7	5	6	17	57	60,4	±	2,5
Grupo 2	9	8	7	2	10	12	48	50,1	±	4,0
Grupo 3	11	7	3	5	15	6	47	80,7	±	3,1
Grupo 4	18	21	6	8	18	9	80	66,1	±	5,6
Grupo 5	4	9	20	11	5	8	57	44,1	±	5,5
Grupo 6	6	9	5	6	8	6	40	55,1	±	8,5
Grupo 7	6	8	15	35	5	9	78	32,8	±	1,1
Grupo 8	7	3	2	0	9	7	28	98,3	±	4,4
Total	72	76	65	72	76	74	435	---		

Por meio da Figura 16 pôde-se notar que o grupo 5, formado por 54,38% de animais da linhagem Landrace teve o perfil de TM crescente ao longo do tempo, indicando que o comportamento alimentar de animais dessa linhagem tem interação positiva com a idade do animal, corroborando com os resultados encontrados por meio da ACP. Os demais grupos apresentaram comportamento semelhante, todavia, diferenciaram-se pela quantidade de minutos gastos ao se alimentarem.

Figura 16. Tempo médio em alimentação (TM) dos grupos formados por meio da análise de agrupamentos durante o período experimental.

Já avaliando o agrupamento em relação ao tempo médio de alimentação por hora, observou-se a formação de dez grupos de acordo com a semelhança no comportamento alimentar ao longo do dia (Figura 17).

Para os dez grupos formados, notou-se um comportamento diferente ao longo do dia, principalmente em relação aos picos durante o período da tarde, ocorrendo desde às 14h até às 18h. Gertheiss et al. (2015) observaram padrões semelhantes sendo que, para animais de mesma linhagem, os comportamentos alimentares eram distintos durante o período experimental e ao longo do dia, ou seja, animais possuíam comportamentos individuais em relação à alimentação da mesma maneira que foi observada nesse estudo.

Figura 17. Tempo médio em alimentação por hora (TMH) dos grupos formados por meio da análise de agrupamentos durante o período experimental.

Além disso, os grupos formados por maior número de fêmeas comparado a machos castrados, são aqueles em que os picos de alimentação durante a tarde são adiantados (Grupo 1 e 7) ou atrasados (Grupo 5 e 9) em relação aos que contém em sua maioria machos.

Avaliando os grupos formados, da totalidade de animais da linhagem Landrace, cerca de 30% dos animais foram agrupados no Grupo 7, sendo esse o que apresenta os menores valores de TMH (Tabela 7). Além disso, o Grupo 9 e 4 apresentam queda de TMH durante o período da tarde com pico após as 19h diferentemente dos demais, essa característica é um indicativo de competição dos animais em relação ao comedouro, como observado anteriormente.

Os Grupos 2, 6 e 10, devido a um menor número de animais agrupados e o comportamento alimentar ao longo do dia, ficou evidente a dominância desses grupos em relação aos demais. Sendo os Grupos 2 e 6 os animais que passam maior parte do tempo no comedouro nos principais horários observados por Xin et al. (2016) e representam os animais dominantes, visto que são aqueles que

gastam maior tempo em alimentação e são os primeiros a se alimentarem nos horários de pico (HOY et al., 2012).

Tabela 8. Distribuição dos grupos formados pela análise de agrupamento e o tempo médio horário (TMH) em alimentação durante o período experimental para machos castrados (M) e fêmeas (F).

Agrupamentos	Número de animais						Total
	Duroc		Landrace		Yorkshire		
	M	F	M	F	M	F	
Grupo 1	9	17	12	14	7	15	74
Grupo 2	8	6	4	5	6	4	33
Grupo 3	11	10	3	2	8	5	39
Grupo 4	4	2	3	1	5	3	18
Grupo 5	5	13	3	6	5	7	39
Grupo 6	2	2	4	0	8	3	19
Grupo 7	6	7	21	20	4	11	69
Grupo 8	14	10	7	8	18	6	63
Grupo 9	5	4	7	13	5	10	44
Grupo 10	8	5	1	3	10	10	37
Total	72	76	65	72	76	74	435

Portanto, foi identificado que o comportamento alimentar nesse estudo foi influenciado, principalmente, por características do animal, como a linhagem comercial, sexo, idade e hora do dia, uma vez que as variáveis ambientais e os índices de conforto térmico indicaram que, na maior parte do tempo, os animais estiveram dentro de sua zona de termoneutralidade.

Além disso, como não foi observado um comportamento semelhante dos animais ao longo do dia, visto que grupos de diferentes linhagens e sexo comportam-se de maneira semelhante, a Figura 18 indica os agrupamentos por período para obtenção de novos grupos.

Figura 18. Tempo médio em alimentação por período (TMP) dos grupos formados por meio da análise de agrupamentos durante o período experimental.

Durante a madrugada, os Grupos 5, 7, 9 e 10 apresentaram comportamento alimentar semelhante com média de $0,59 \pm 0,05$ min, enquanto os Grupos 1, 2, 3 e 8 apresentaram TMP de $1,20 \pm 0,15$ min. Já os animais dos Grupos 4 e 6 apresentaram tempo médio de alimentação de $2,09 \pm 0,07$ min. Com exceção do Grupo 10, durante o período da madrugada, os agrupamentos que apresentaram menor consumo de ração eram compostos pela maioria de fêmeas, aproximadamente 67%, sendo os Grupos 7 e 9 com maior número de animais da linhagem Landrace comparados aos demais. Em contrapartida, os grupos com maior tempo em alimentação apresentavam 58% de machos castrados em sua composição.

Já durante os períodos da manhã e tarde, nos quais os animais apresentam maior atividade em relação ao tempo em alimentação, nota-se que os agrupamentos são diferentes em relação à madrugada. Os animais pertencentes aos agrupamentos 3, 7 e 9 apresentaram menor tempo se alimentando durante a manhã e tarde, sendo que para o período vespertino, o Grupo 4 se assemelhou aos demais. Os Grupos 2, 6 e 10 foram os que apresentaram maior tempo no comedouro, tanto para o período matutino quanto para o vespertino.

4.3. Modelagem matemática e sistemas inteligentes para predição do comportamento alimentar de suínos

4.3.1. Modelagem matemática

Como esperado, devido à não significativa correlação linear das variáveis analisadas no trabalho, as equações de regressão múltipla apresentaram baixa precisão para predição do comportamento alimentar de suínos (Tabela 8), sendo o maior valor obtido para a linhagem comercial Yorkshire ($R^2 = 0,1$). Foi utilizado o ITU já que, entre as variáveis térmicas, foi o que apresentou maior correlação com a variável resposta TM (min dia^{-1}). Dessa forma, ao analisar o comportamento alimentar de animais dentro de sua zona de termoneutralidade ou dentro da faixa de alerta em relação ao ITU, observou-se que o comportamento não foi influenciado por variáveis físicas ou intrínsecas, como a idade, do animal.

Tabela 9. Equações de regressão múltipla com os respectivos coeficientes de determinação (R^2) para o tempo médio em alimentação (TM, min dia^{-1}) em função da idade do animal (ID, dias) e o Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

Linhagem	Sexo	Equação de Regressão	R^2
Duroc	Fêmea	$TM = -6,0 + 0,272.ID + 0,827.ITU - 0,00290.ID.ITU$	0,038
	Macho	$TM = 0,7 + 0,272.ID + 0,827.ITU - 0,00290.ID.ITU$	0,092
Landrace	Fêmea	$TM = -21,3 + 0,272.ID + 0,827.ITU - 0,00290.ID.ITU$	0,083
	Macho	$TM = -16,1 + 0,272.ID + 0,827.ITU - 0,00290.ID.ITU$	0,005
Yorkshire	Fêmea	$TM = -5,8 + 0,272.ID + 0,827.ITU - 0,00290.ID.ITU$	0,100
	Macho	$TM = 1,4 + 0,272.ID + 0,827.ITU - 0,00290.ID.ITU$	0,088

Andretta et al. (2016), analisando diferentes estratégias de alimentação em relação ao comportamento alimentar de suínos, verificaram que o TM não foi afetado pelas diferentes dietas e/ou

estratégias alimentares. Entretanto, Botermans e Svendsen (2000) verificaram que animais alojados em baias com ração seca, tendem a alterar o padrão de alimentação e aumentar o nível de lesões devido à competição, podendo prejudicar o grau de bem-estar animal (BOTERMANS et al., 1995). Portanto, o comportamento alimentar dos animais nesse estudo, indica uma falta de padrão em relação as variáveis estudadas, uma vez que animais de diferentes linhagens comerciais e sexos, apresentam o mesmo comportamento.

Morgan et al. (2000), analisando o comportamento alimentar de suínos a partir de diferentes modelos, verificou que não existe uma linearidade entre o tempo gasto em alimentação e a idade dos animais. Apesar dos animais consumirem mais alimento ao longo do tempo, não foi encontrado um padrão do tempo gasto no comedouro.

4.3.2. Sistema *fuzzy*

Apesar do comportamento individual de cada animal, com as análises, foi possível obter uma relação entre os agrupamentos para facilitar a modelagem *fuzzy*, visto que o objetivo foi a generalização do comportamento alimentar por linhagem comercial e sexo. Portanto, para o desenvolvimento das curvas de pertinência, bem como as regras, foi estabelecido que o comportamento padrão de consumo alimentar é aquele em que possui o maior número de animais de uma determinada linhagem (Tabela 3), ou seja, para a linhagem Landrace, estabeleceu-se que o comportamento padronizado seria aquele representado pelos Grupos 5 e 7. Já para linhagem comercial Duroc e Yorkshire, foi estabelecido como padrão os agrupamentos 1, 2 e 4. Os agrupamentos formados pela variável TMH não foram utilizados para a modelagem devido à disparidade dos grupos em relação ao horário de alimentação.

4.3.2.1. Variáveis de entrada e saída

A partir das análises, foram definidas como variáveis de entrada: linhagem comercial (Duroc, Landrace, Yorkshire), sexo (fêmea e macho castrado), idade (dias) e o Índice de Temperatura e Umidade (Figura 19). Apesar das variáveis “linhagem comercial” e “sexo” serem categóricas, o sistema *fuzzy* permite seu uso por ser formado por sentenças linguísticas. Portanto, ao entrar com tais variáveis no modelo, foi definido que: 1 – representa a linhagem Duroc, 2 – a linhagem Landrace e 3 – a linhagem Yorkshire; da mesma forma, para o sexo: 1 – representa fêmeas e 2 – machos castrados.

Referente a idade, foram atribuídas 8 curvas de pertinência para representar as fases de crescimento (CR1, CR2, CR3 e CR4) e terminação (TR1, TR2, TR3 e TR4) no domínio [60, 150] dias. Já para a variável ITU, foram utilizadas 10 curvas de pertinência distintas no domínio [60, 79] representando as condições de conforto térmico (CF1, CF2, CF3, CF4, CF5, CF6 e CF7) e alerta (AL1, AL2 e AL3), sendo que para essa última condição os animais ainda estão abaixo da zona crítica superior. Já para a variável de saída, foram definidas 21 curvas de pertinência do tipo triangular no domínio [20, 100] min dia⁻¹.

Figura 19. Curvas de pertinência para as variáveis de entrada (A) linhagem comercial – Duroc, Landrace e Yorkshire, (B) sexo – fêmeas e machos castrados, (C) Idade dos animais (dias) e (D) ITU; e para variável de saída (E) Tempo médio no comedouro (TM, min.dia⁻¹).

Foram utilizadas curvas de pertinência do tipo trapezoidal e triangulares, uma vez que esses tipos de curvas apresentam menores desvios-padrão e são menos sensíveis a uma medida de erro durante sua determinação (BOUCHON-MEUNIER et al., 2007; ROSS et al., 2016). Além disso, foi utilizado um nível de completude igual a 0,5 para todas as curvas de pertinência como garantia da

total convergência do controlador, menor sobreposição dos valores e menor tempo de estabilização da resposta (MIZUMOTTO, 1988).

4.3.2.2. Sistemas de Regra

As regras foram definidas de acordo com as análises multivariadas realizadas e os padrões estabelecidos para cada linhagem comercial e cada sexo. Dessa forma, foram definidas 480 regras de acordo com as combinações dos dados de entrada. Sendo que, para cada regra, atribuiu-se um fator de ponderação igual a 1, já que esse se adequa ao modelo proposto com base nos dados obtidos pelas simulações.

Após a definição das regras, foram obtidos gráficos de superfície para a análise da variável de saída TM em relação as demais variáveis (Figura 20).

Figura 20. Tempo médio comendo simulado de acordo com as variáveis de entrada sexo, linhagem comercial, ITU e idade (dias)

Por meio da Figura 20 pôde ser observado que animais do sexo masculino passaram maior tempo se alimentando comparado às fêmeas (Figura 20A), como observado anteriormente. Além disso, animais da linhagem Duroc e Yorkshire apresentaram maiores valores de TM comparados aos da linhagem Landrace (Figura 20B) e, por fim, quanto maior a idade do animal e o ITU, foi observado um aumento do TM (Figura 20C). Apesar do aumento do ITU indicar um incremento de calor dentro do ambiente, os animais se mantiveram dentro da zona de conforto térmico durante todo o período de estudo.

Para a simulação do modelo, foram utilizados os dados experimentais de linhagem comercial, sexo, ITU e idade dos animais obtidos no USMARC como variáveis de entrada para a predição da variável de saída TM. Para um total de 4704 observações, o modelo apresentou desvio-padrão de $\pm 3,68 \text{ min dia}^{-1}$, erro porcentual absoluto médio (MAPE) de 9,25%; RMSE de $7,06 \text{ min dia}^{-1}$ e RE(%) de 12,94%.

O modelo apresentou respostas mais precisas em relação às regressões múltiplas, indicando que a modelagem *fuzzy* para predição de características comportamentais, torna-se uma ferramenta mais precisa comparada às demais. Por ser multivariada, ou seja, permitir uma infinidade de valores possíveis entre o verdadeiro (1) e o falso (0) da lógica clássica aristotélica, permite uma melhor predição de variáveis comportamentais em relação aos outros modelos.

Apesar do aumento significativo do uso de sistemas inteligentes como ferramenta da zootecnia de precisão, são escassos os trabalhos em relação ao comportamento animal. Na maioria das vezes, faz-se o uso da modelagem *fuzzy* para predição de respostas fisiológicas ou desempenho zootécnico dos animais (ABREU et al., 2015; GABRIEL FILHO et al., 2016; MARQUES et al., 2016; SCHIASSI et al., 2015).

Avaliando o ajuste do modelo em relação aos dados experimentais (Figura 21), pôde-se observar que o modelo obteve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,549, ou seja, o modelo foi capaz de explicar 54,9% da quantidade de variabilidade dos dados.

Figura 21. Regressão linear para o tempo médio diário em alimentação (TM), em função de todos os valores

preditos pelo modelo *fuzzy* (TMFuz) e os valores obtidos em experimentação (TMObs).

Esse valor de R^2 foi obtido considerando todos os animais, incluindo aqueles em que não estavam dentro do padrão estabelecido para o desenvolvimento das regras, indicando uma boa precisão do modelo em prever o tempo médio em alimentação de suínos das linhagens Landrace, Duroc e Yorkshire, tanto para fêmeas quanto para machos castrados. Entretanto, ao analisar o ajuste do modelo em relação ao padrão estabelecido para as linhagens comerciais (Figura 22), o coeficiente de determinação foi de 0,858 demonstrando que o modelo prediz com alta precisão o comportamento alimentar para suínos dentro da zona de termoneutralidade nos agrupamentos formados.

Figura 22. Regressão linear para o tempo médio diário em alimentação (TM), em função dos valores preditos pelo modelo *fuzzy* (TMFuz) e os valores considerados como padrão para as regras (TMPad).

Apesar de se utilizar variáveis linguísticas e não necessitar de treinamento e validação, o modelo *fuzzy* apresenta essa característica em relação ao seu ajuste quando comparado à outras variáveis. Tavares e Schiassi (2016) avaliando o ganho de massa corporal de frangos de corte, observaram que o modelo *fuzzy* teórico desenvolvido predisse a variável com precisão com MAPE de 2,19%, no entanto, ao se utilizar dados experimentais o modelo apresentou elevado MAPE (20,3%).

Portanto, no que diz respeito à alimentação de precisão, a modelagem *fuzzy* para predição do tempo gasto em alimentação para suínos das linhagens estudadas, fêmeas e machos castrados, é uma ferramenta que pode auxiliar no desenvolvimento de tecnologia barata, com o objetivo de tecnificação para pequenos produtores. Novos estudos deverão ser realizados com o objetivo de agregar mais informações acerca do comportamento alimentar dos suínos, sendo necessária a obtenção de outras variáveis como o consumo de ração e, também, a avaliação desse comportamento dentro das zonas de estresse por frio e por calor.

4.3.3. Rede Neural Artificial (RNA)

A RNA foi desenvolvida com as mesmas variáveis utilizadas no modelo *fuzzy*. Para a taxa de aprendizado foi adotado um valor de 0,1 para que houvesse convergência do processo na superfície do erro médio quadrático. Pandorfi et al. (2011) utilizaram esse mesmo valor, uma vez

observado que, valores acima de 0,1 não convergiam. Após a realização de ajustes referentes ao número de neurônios, foi obtido poder de generalização adequado da rede com 206 épocas para a rede formada por 12 neurônios com MSE de 0,611, o que indicou o número de vezes em que o conjunto de dados foi apresentado à rede (Figura 23A). Já para a rede formada por 50 neurônios foi obtido poder de generalização com 266 épocas e MSE de 0,628 (Figura 23B). Dessa forma, observa-se que o valor pré-estabelecido de 0,5 não foi atingido para nenhuma rede neural desenvolvida, o que indica uma certa aleatoriedade dos valores, como foi observado anteriormente nas demais análises.

Figura 23. Gráfico do andamento do treinamento da rede neural para 12 neurônios (A) e 50 neurônios (B) na camada escondida.

Snell-Rood (2013) afirma que devido à plasticidade comportamental dos animais, o desenvolvimento de redes neurais é dificultado, uma vez que os mesmos animais podem apresentar dois tipos distintos de plasticidade comportamental: (i) plasticidade de desenvolvimento – onde um

animal adota diferentes comportamentos dentro de distintos ambientes devido a sua genética; e (ii) plasticidade ativacional – em que refere-se a ativação do comportamento de acordo com características fenotípicas ligadas ao animal. Portanto, a modelagem de características comportamentais torna-se dificultada devido a essa variação intrínseca ao animal.

Apesar disso, após o treino e a validação, a RNA com 50 neurônios atingiu um valor de R^2 de 0,63, valor superior ao observado para o modelo *fuzzy* desenvolvido (Figura 24). Indicando que, apesar da multivaloração da modelagem *fuzzy*, as RNAs podem alcançar resultados melhores quando referente ao comportamento animal, visto que se baseiam no sistema nervoso biológico (BRAGA et al., 2007).

Figura 24. Relação funcional entre os dados normalizados para o tempo diário gasto em alimentação (TM) verificados experimentalmente (Alvo) e os valores estimados pela RNA (Saída)

Como a RNA com 12 neurônios apresentou precisão semelhante à RNA com 50 neurônios na camada escondida para estimativa de TM, para os dados selecionados como padrões, foi utilizada uma rede formada por 12 neurônios, com o objetivo de diminuir a complexidade da rede e um MSE alvo de 0,05. Dessa forma, pode ser observado por meio da Figura 25A que a melhor resposta foi alcançada após 140 épocas, com o valor de 0,04993, entretanto, ao analisar os valores do teste, verifica-se um valor de MSE superior ao estabelecido. No entanto, verificando a relação funcional (Figura 25B) com R^2 de 0,914, indicando alta precisão e acurácia na predição de TM.

(A)

(B)

Figura 25. Andamento do treinamento da rede neural para o comportamento padrão (A) e Relação funcional entre os dados verificados experimentalmente (Alvo) e os valores estimados pela RNA (Saída) (B)

As RNA mostraram-se como uma ferramenta com maior precisão e acurácia na predição do comportamento alimentar de suínos nas fases de crescimento e terminação. Por ter uma estrutura não linear, as RNAs são capazes de trabalhar com características mais complexas que não são possíveis serem trabalhadas com estatística clássica (GALVÃO et al., 1999). Além disso, sua implementação em sistemas embarcados é mais facilitada comparada à modelagem *fuzzy* devido à linguagem numérica e a maior facilidade de programação do sistema (CARMO, 2008).

5. CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados obtidos, pôde-se concluir que:

- a) Animais dentro da zona de termoneutralidade e abaixo da condição crítica superior, possuíram seu comportamento alimentar afetado apenas pelos fatores homeostáticos e cognitivos-hedônicos, dificultando a modelagem matemática em relação ao comportamento alimentar;
- b) Machos castrados apresentaram maior tempo gasto em alimentação comparado às fêmeas. Além disso, animais da linhagem comercial Landrace obtiveram os menores valores de TM para os dois sexos, em compensação, os da linhagem Duroc e Yorkshire apresentaram comportamento alimentar semelhantes;
- c) Dentre os modelos utilizados, observou-se que os sistemas inteligentes foram mais precisos em prever o tempo diário de alimentação gasto pelos suínos, principalmente por permitirem o uso de informações mais complexas no que diz respeito às variáveis estudadas, como a falta de linearidade destas; e
- d) As RNAs apresentaram-se como uma ferramenta mais eficiente para a predição do comportamento alimentar de suínos, uma vez que apresentou R^2 0,914 quando utilizado os animais agrupados como “padrão”, principalmente por se assemelharem ao sistema nervoso biológico e permitirem uma generalização de informações imprecisas e complexas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo pode ser tomado como um norte para novas pesquisas para avaliação do comportamento alimentar de suínos visando o uso de sistemas inteligentes para implantação de tecnologia em equipamentos de baixo custo.

Em etapas futuras, sugere-se avaliar o comportamento alimentar em condições de estresse por frio e por calor, visando entender de maneira satisfatória a influência do ambiente no comportamento alimentar animal, uma vez que diversos autores indicam a influência negativa no comportamento alimentar, no entanto, são escassas as pesquisas que comprovem esse efeito.

Outra consideração a ser feita, refere-se ao incremento do consumo de ração e o ganho de massa corporal como variáveis a serem coletadas, já que o tempo gasto em alimentação não é diretamente relacionado com a quantidade de ração consumida e pode, consequentemente, influenciar na massa corporal final do animal.

Além disso, essa pesquisa verificou o comportamento em relação aos animais de diferentes linhagens e sexo dentro de uma mesma baia, o que pode ter afetado diretamente no comportamento alimentar. Novos estudos poderiam ser feitos, buscando utilizar diferentes condições de alojamentos para que se possa atingir um objetivo mais amplo.

Devido à grande quantidade de informação (dados registrados a cada 20 segundos individualmente para 240 animais, a cada estação), o uso de *software* editor de planilhas foi dificultado, pois permite apenas pouco mais de 1 milhão de linhas, sendo que para essa pesquisa foram alcançadas mais de 30 milhões.

Apesar disso, aparentemente, o estudo mostrou-se de certa forma eficaz em responder aos objetivos propostos e demonstrou que sistemas inteligentes podem ser ferramentas satisfatórias como estimadores quando utilizados para predição de características comportamentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual ABPA 2016**. 2016. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/suinocultura/publicacoes/relatorios-anuais>>. Acesso em: 29 jul. 2016.

ABREU, L. H.; YANAGI JUNIOR, T.; FASSANI, É. J.; CAMPOS, A. T.; LOURENÇONI, D. Fuzzy modeling of broiler performance, raised from 1 to 21 days, subject to heat stress. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 6, p. 967-978, 2015.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **FAO**, Roma, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ANDRETTA, I.; POMAR, C.; KIPPER, M.; HAUSCHILD, L.; RIVEST, J. Feeding behavior of growing–finishing pigs reared under precision feeding strategies. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 94, n. 7, p. 3042-3050, 2016.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING AND REFRIGERATION AND AIR. Conditioning Engineers. **Handbook of fundamentals**. Atlanta, 2001. 544p.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em Edificações Rurais: Conforto animal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2010. 269 p.

BARIN, A.; CANHA, L. N.; MAGNANO, K. F.; ABAIDE, A. R.. Seleção de fontes alternativas de geração distribuída utilizando uma análise multicriterial baseada no método AHP e na lógica *fuzzy*. **Revista Controle & Automação**, Campinas, SP, v.21, n.5, p. 477-486, set./out. 2010.

BASSANEZI, R. C.; BARROS, L. C. **Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática**. Campinas: IMECC, 2015. 426p.

BAUMUNG, R.; LERCHER, G.; WILLAM, A.; SOLKNER, J. Feed intake behaviour of different pig breeds during performance testing on station. **Archives Animal Breeding**, Dummerstorf, v. 49, n. 1, p. 77, 2006.

BERMAN, A.; HOROVITZ, T.; KAIM, M.; GACITUA, H. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. **International Journal of Biometeorology**, Kent, v. 60, n. 10, p.1453-1462, 2016.

BERTHOUD, H.; MORRISON, C. The brain, appetite, and obesity. **Annu. Rev. Psychol.**, Palo Alto, v. 59, p. 55-92, 2008.

BORNETT, H. L. I.; MORGAN, C. A.; LAWRENCE, A. B.; MANN, J. The effect of group housing on feeding patterns and social behaviour of previously individually housed growing pigs. **Applied animal behaviour science**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 127-141, 2000.

BOTERMANS, J. A. M.; SVENDSEN, J. Effect of feeding environment on performance, injuries and behaviour in growing-finishing pigs: group-based studies. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Uppsala, v. 50, n. 4, p. 237-249, 2000.

BOTERMANS, J.; ANDERSSON, M. A. T. S.; SVENDSEN, J. Growing-finishing pigs in an uninsulated house. **Swedish J. Agric. Res**, Osio, v. 25, p. 83-92, 1995.

BOUCHON-MEUNIER, B.; DOTOLI, M.; MAIONE, B.. On the choice of membership functions in a Mamdani-type fuzzy controller. In: **1 st Online World Congress on Soft Computing**. [s.l], 2007.

BRAGA, A.; CARVALHO, A. P. L. F.; LUDEMIR, T. R. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicação**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 226p.

BROWN-BRANDL, T. M.; NIENABER, J. A.; XIN, H.; GATES, R. S. A literature review of swine heat production. **Transactions-American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph , v. 47, n. 1, p. 259-270, 2004.

BROWN-BRANDL, T. M.; ROHRER, G. A.; EIGENBERG, R. A. Analysis of feeding behavior of group housed growing–finishing pigs. **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam , v. 96, p. 246-252, 2013.

BRUCE, J. M.; CLARK, J. J. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. **Animal production**, Cambridge, v. 28, n. 03, p. 353-369, jun. 1979.

CAMERLINK, I.; TURNER, S. P. Farmers' perception of aggression between growing pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, 2016. (*in process*).

CAMPBELL, R. G.; TAVERNER, M. R. Genotype and sex effects on the relationship between energy intake and protein deposition in growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 66, n. 3, p. 676-686, 1988.

CARMO, E.; RIKER, F.; MEDEIROS, I.; OLIVEIRA, A.; BARREIROS, J.; SILVA, O.; SILVA, C.; GOMES, M. Controle neural e fuzzy embarcado aplicado a um sistema térmico. In: Simpósio

Brasileiro de Automação Inteligente, 8., 2007, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis: Sba, 2007. p. 1 - 6. Disponível em: <http://www.sba.org.br/rsv/SBAI/SBAI2007/docs/30687_1.pdf>. Acesso em: 13 out. 2016.

COLLIN, A.; van MILGEN, J.; DUBOIS, S.; NOBLET, J. Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pigs. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 86, n. 01, p. 63-70, 2001.

CORDEIRO, M. B. **Avaliação de sistemas de camas sobrepostas quanto ao conforto térmico e ambiental e ao desempenho zootécnico para suínos nas fases de crescimento e terminação**. 2003. 72 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

COX, E. **The fuzzy systems handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems**. [s.l]: AP Professional, 1994. 658 p.

CRANINX, M.; FIEVEZ, V.; VLAEMINCK, B.; DE BAETS, B. Artificial neural network models of the rumen fermentation pattern in dairy cattle. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 60, p. 226-238, 2008.

de GROOT, J.; RUIS, M. A.; SCHOLTEN, J. W.; KOOLHAAS, J. M.; BOERSMA, W. J. Long-term effects of social stress on antiviral immunity in pigs. **Physiology & Behavior**, Amsterdam, v. 73, n. 1, p. 145-158, 2001.

DEBRECENI, O., LEHOTAYOVÁ, A., BUČKO, O., PETRÁK, J. The Behaviour of the Pigs Housed in Hot Climatic Conditions. **Journal of Central European Agriculture**, Osijek, v. 15, n. 1, 2014.

DO, D. N.; STRATHE, A. B.; JENSEN, J.; MARK, T.; KADARMIDEEN, H. N. Genetic parameters for different measures of feed efficiency and related traits in boars of three pig breeds. **Journal of animal science**, Champaign, v. 91, n. 9, p. 4069-4079, 2013.

FERNÁNDEZ, J.; FÀBREGA, E.; SOLER, J.; TIBAU, J.; RUIZ, J. L.; PUIGVERT, X.; MANTECA, X. Feeding strategy in group-housed growing pigs of four different breeds. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 134, n. 3, p. 109-120, 2011.

FERREIRA, M. A. M.; DE ALMEIDA BISPO, O. N.; MONTEIRO, D. A. A. Avaliação financeira, de riscos e de custos de transação envolvidos na internalização da produção de ração na suinocultura. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 2, n. 15, p.194-205, dez. 2013.

FERREIRA, R. A. **Suinocultura: Manual prático de criação**. 1. Ed. Viçosa, MG: Editora Aprenda Fácil, 2012. 443p.

FU, L.; LI, H.; LIANG, T.; ZHOU, B.; CHU, Q.; SCHINCKEL, A. P.; YANG, X.; ZHAO, R.; LI, P.; HUANG, R. . Stocking density affects welfare indicators of growing pigs of different group sizes after regrouping. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 174, p. 42-50, 2016.

FULLER, M. F.; FRANKLIN, M. F.; MCWILLIAM, R.; PENNIE, K. The responses of growing pigs, of different sex and genotype, to dietary energy and protein. **Animal Science**, Cambridge, v. 60, n. 02, p. 291-298, 1995.

GABRIEL FILHO, L. R.; PUTTI, F. F.; CREMASCO, C. P.; BORDIN, D.; CHACUR, M. G.; GABRIEL, L. R. Software to assess beef cattle body mass through the fuzzy body mass index. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 179-193, 2016.

GALVÃO, C. O.; VALENÇA, M. J. S.; VIEIRA, V. P. P. B.; DINIZ, L. S.; LACERDA, E. G. M. CARVALHO, A. C. P. L. F; LUDERMIR, T. B. **Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais**. Rio Grande do Sul: ABRH, 1999. 246p.

GERTHEISS, J.; MAIER, V.; HESSEL, E. F.; STAICU, A. M. Marginal functional regression models for analyzing the feeding behavior of pigs. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, Stockton, v. 20, n. 3, p. 353-370, 2015.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2006. 1128 p.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C.. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2009. 688p.

HANNAS, M. I. Aspectos fisiológicos e a produção de suínos em clima quente. In: SILVA, I. J. (Ed.). **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos**. Piracicaba: FEALQ, 1999, p. 1-33.

HAYKIN, S. **Neural Networks and Learning Machines**. New Jersey: Pearson Education, 2009. 937 p.

HOY, S.; SCHAMUN, S.; WEIRICH, C. Investigations on feed intake and social behaviour of fattening pigs fed at an electronic feeding station. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 139, n. 1, p. 58-64, 2012.

HYUN, Y.; ELLIS, M.; CURTIS, S. E.; JOHNSON, R.W. Environmental temperature, space allowance, and regrouping: Additive effects of multiple concurrent stressors in growing pigs. **J. Swine Health Prod**, Guelph, v. 13, n. 3, p. 131-138, 2005.

HYUN, Y.; WOLTER, B. F.; ELLIS, M. Feed intake patterns and growth performance of purebred and crossbred Meishan and Yorkshire pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Gwanak-gu, v. 14, n. 6, p. 837-843, 2001.

JOHNSON, A. W. Eating beyond metabolic need: how environmental cues influence feeding behavior. **Trends in neurosciences**, Cambridge, v. 36, n. 2, p. 101-109, 2013.

KOVÁCS, Z. L. **Redes neurais artificiais**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. 174 p.

LEITE, M. S.; FILETI, A. M. F.; SILVA, F. V. Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores *fuzzy* e convencional em um bioprocesso. **Revista Controle & Automação**. Campinas, v.21, n.2, p.147-158, 2010.

LENT, R. **Cem Bilhões de Neurônios?** Conceitos Fundamentais de Neurociência. São Paulo: Editora Atheneu, 2001. 742 p.

MACKAY, D. J. C. Bayesian interpolation. **Neural computation**, Massachusetts v. 4, n. 3, p. 415-447, 1992.

MANZKE, N. E.; DALLA COSTA, O. A.; LIMA, G. J. M. M. de. **Atualidades e desafios nas fases de crescimento e terminação**. 2011. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/936664/1/AvesuiNaianaOsmarGustavoatualidadesedesafiosnasfasesdecrecimentoeoeterminacao.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

MARQUES, J. I.; LOPES NETO, J. P.; LOPES, F. F.; FURTADO, D. A.; ARAUJO, T. G. Fuzzy modeling in the prediction of climate indices and productive performance of quails kept in climate chamber. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 4, p. 604-612, 2016.

MARTENS, H.; NAES, T. **Multivariate calibration**. Chichester: John Wiley, 1989. 419p.

MASSARI, J. M.; CURI, T. M. R.; MOURA, D. J.; MEDEIROS, B. B. L.; SALGADO, D. D. A. Características comportamentais de suínos em crescimento e terminação em sistema “wean to finish”. **Eng Agric**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 646-656, 2015.

MIZUMOTO, M. Fuzzy controls under various fuzzy reasoning methods. **Information Sciences**, Oaks, v. 45, n. 2, p. 129-151, 1988.

MORGAN, C. A.; EMMANS, G. C.; TOLKAMP, B. J.; KYRIAZAKIS, I. Analysis of the feeding behavior of pigs using different models. **Physiology & Behavior**, Amsterdam, v. 68, n. 3, p. 395-403, 2000.

MOSTAÇO, G. M. **Determinação da temperatura retal e frequência respiratória de suínos em fase de creche por meio da temperatura da superfície corporal em câmara climática**. 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Sistemas Agrícolas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

MOUNT, L.E. **The assesment of thermal environment**. Londres: Arnold, 1979. 333p.

NÄÄS, I. A.; CAMPOS, L. L.; BARACHO, M. S.; TOLON, Y. B. Uso de redes neurais artificiais na identificação de vocalização de suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 204-216, 2008.

NÄÄS, I. A.; MOURA, D. J. de. Incorporação de Novas Ferramentas para a Zootecnia de Precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 19, 2009, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** . Águas de Lindóia: FZEA, 2009.

NIELSEN, B. L.; LAWRENCE, A. B.; WHITTEMORE, C. T. Effect of individual housing on the feeding behaviour of previously group housed growing pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 47, n. 3, p. 149-161, 1996.

NIENABER, J. A.; HAHN, G. L. Feeding behavior and energetics of growing-finishing swine as influenced by environmental temperature. **American Society of Agricultural Engineers (USA)**, St. Joseph, 2000. 19p.

NWSCR - National Weather Service Central Region. **Livestock hot weather stress**. Regional operations manual letter C-31-76. NWSCR, Kansas City, 1976.

OLIVEIRA, J. L., ESMAY, M. L. Systems model analysis of hot weather housing for livestock. **Transactions of ASAE**, St. Joseph: ASAE, 1981. 17p.

PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; SARNIGHAUSEN, V. C. R.; VIEIRA, F. M. C.; NASCIMENTO, S. T.; GUISLINI, C. Uso de redes neurais artificiais para predição de índices zootécnicos nas fases de gestação e maternidade na suinocultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 3, p.676-681, mar. 2011.

PEIXOTO, L. A. **Redes Neurais Artificiais na predição do valor genético**. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

PERDOMO, C. C.; KOZEN, E.; SOBESTIANSKY, J.; SILVA, A. D.; CORREA, N. Considerações sobre edificações para suínos. In: Curso de atualização sobre a produção de suínos, v. 4, 1985. Concórdia. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 1985. Não paginado.

POMAR, C.; HAUSCHILD, L.; ZHANG, G.; POMAR, J.; LOVATTO, P. A. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. spe, p.226-237, jul. 2009.

QUINIOU, N.; DUBOIS, S.; NOBLET, J. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. **Livestock Production Science**, Filadélfia, v. 63, n. 3, p. 245-253, 2000.

RODRIGUES, N. E. B.; TADEU FILHO, E.; ZANGERONIMO, M. G.; CANTARELLI, V. D. S.; RODRIGUES, P. B.; RODRIGUES FILHO, M.; BETARELLI, R. P. Reduction in the protein level and addition of oil in diets for finishing pugs under different temperatures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 8, p. 1878-1883, 2012.

RODRIGUES, V. C.; SILVA, I. J. O.; VIEIRA, F. M. C.; NASCIMENTO, S. T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, Kent, v. 55, n. 3, p.455-459, 2010.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. Nova York: John Wiley & Sons, 2016, 584p.

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; FERREIRA, L.; DAMASCENO, F. A.; YANAGI, S. N. M. Metodologia *fuzzy* aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.16, n.2, p.180-191 abr./jun, 2008.

SCHIASSI, L. **Modelagem fuzzy e geoestatística na avaliação da salubridade de trabalhadores**. 2011. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas), Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.

SCHIASSI, L.; YANAGI JÚNIOR, T.; REIS, G. M.; ABREU, L. H.; CAMPOS, A. T.; CASTRO, J. D. O. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 140-146, 2015.

SEGNALINI, M.; BERNABUCCI, U.; VITALI, A.; NARDONE, A.; LACETERA, N. Temperature humidity index scenarios in the Mediterranean basin. **International Journal of Biometeorology**, Kent, v. 57, n. 3, p.451-458, 1 ago. 2012.

SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. **Controle e Modelagem Fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Blücher/FAPESP, 2007. 180 p.

SILVA, I. J. O. Qualidade do ambiente e instalações na produção industrial de suínos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 4. 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Gessuli, 1999. P. 108-121.

SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. **Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas**. São Paulo: Artliber, 2010. 399 p.

SNELL-ROOD, E. C. An overview of the evolutionary causes and consequences of behavioural plasticity. **Animal Behaviour**, Amsterdam, v. 85, n. 5, p. 1004-1011, 2013.

TALLET, C.; SÉNÈQUE, E.; MÉGNIN, C.; MORISSET, S.; VAL-LAILLET, D.; MEUNIER-SALAÜN, M. C.; FUREIX, C.; HAUSBERGER, M. Assessing walking posture with geometric morphometrics: effects of rearing environment in pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 174, p. 32-41, 2016.

TAN, S. S. L.; SHACKLETON, D. M.; BEAMES, R. M. The effect of mixing unfamiliar individuals on the growth and production of finishing pigs. **Animal Production**, Clayton, v. 52, n. 01, p. 201-206, 1991.

TAVARES, G. F.; SCHIASSI, L. Modelagem *fuzzy* como ferramenta para predição do ganho de peso diário para frangos de corte. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 32-38, 2016

TROTTA, R. Bayes in the sky: Bayesian inference and model selection in cosmology. **Contemporary Physics**, Londres, v. 49, n. 2, p. 71-104, 2008.

TSOUKALAS, L. H.; UHRIG, R. E. **Fuzzy and neural approaches in engineering**. Hoboken: Wiley, 1997. 600p.

VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. O.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; VIEIRA, A. M. C. Productive losses on broiler preslaughter operations: effects of the distance from farms to abattoirs and of lairage time in a climatized holding area. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 11, p.2471-2476, nov. 2010.

WEGNER, K.; LAMBERTZ, C.; DAS, G.; REINER, G.; GAULY, M. Climatic effects on sow fertility and piglet survival under influence of a moderate climate. **Animal**, Cambridge, v. 8, n. 09, p.1526-1533, 2014.

WOLP, R. C.; RODRIGUES, N. E. B.; ZANGERONIMO, M. G.; CANTARELLI, V. S.; FIALHO, E. T.; PHILOMENO, R. R.; ROCHA, L. F. Soybean oil and crude protein levels for growing pigs kept under heat stress conditions. **Livestock Science**, Filadélfia, v. 147, n. 1, p. 148-153, aug. 2012.

XIN, W.; LI, X.; ZHANG, F.; YAN, G.; DING, N.; HUANG, L.; ZHANG, Z. A multi-population survey on swine feeding behavior with electronicfeeding devices. **Archives Animal Breeding**, Dummerstorf, v. 59, n. 4, p.445-452, 2016.