

## IDENTIFICAÇÃO PARAMÉTRICA AVALIADA NA PREDIÇÃO DO DESEMPENHO PRODUTIVO E PARÂMETROS FISIOLÓGICOS DE OVINOS MORADA NOVA

GERONIMO BARBOSA ALEXANDRE<sup>1\*</sup>; JORDÂNIO INÁCIO MARQUES<sup>2</sup>; PATRÍCIO GOMES LEITE<sup>3</sup>; THALYS DE FREITAS FERNANDES<sup>4</sup>; FRANCISCO DEILSON FREITAS R. B. DE SOUSA<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Ms. Engenharia Elétrica, Professor EBTT, IFPE, Garanhuns - PE, [geronimo.alexandre@ee.ufcg.edu.br](mailto:geronimo.alexandre@ee.ufcg.edu.br)

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande - PB, [jordanioinacio@hotmail.com](mailto:jordanioinacio@hotmail.com)

<sup>3</sup> Ms. Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande - PB, [pgomesleite@gmail.com](mailto:pgomesleite@gmail.com)

<sup>4</sup> Ms. Engenharia Química, UFCG, Campina Grande - PB, [thalys.fernandes@yahoo.com.br](mailto:thalys.fernandes@yahoo.com.br)

<sup>5</sup> Especialista em Matemática, Professor EBTT, IFMA, Buriticupu - MA, [francisco.barbosa@ifma.edu.br](mailto:francisco.barbosa@ifma.edu.br)

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu - Paraná, Brasil

**RESUMO:** A caracterização (modelagem) da unidade de produção animal é de suma importância para o projeto e expansão (produção em escala industrial) de instalações de confinamento ou para simulações em tempo real de problemas rotineiros em galpões análogos. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi apresentar modelos heurísticos, para a predição do desempenho produtivo e parâmetros fisiológicos de ovinos da Raça Morada Nova, em função da temperatura ambiente e umidade relativa do ar a que os animais foram submetidos. O modelo desenvolvido tem, como variáveis de entrada: temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%), sendo as variáveis de saída consideradas: consumo de água (CA, kg), consumo de ração (CR, kg), frequência respiratória (FR, mov.min<sup>-1</sup>), frequência cardíaca (FC, bat.min<sup>-1</sup>) e temperatura superficial (TS, °C). Para tanto, neste projeto utilizou-se o *Toolbox System Identification* como ferramenta computacional para construção dos modelos do processo. Este Toolbox, disponível no pacote MATLAB®, oferece diversas funcionalidades para simulação de cenários e construção de diversos modelos que atenderam as necessidades do presente trabalho. Com base na comparação entre os resultados gerados pelo modelo e os experimentais, obtiveram-se coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) – índice de confiança – na ordem de 0,97; 0,9; 0,96; 0,9957 e 0,9996, para CA, CR, FR, FC e TS, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas salinas, conforto térmico, modelagem matemática.

### PARAMETRIC IDENTIFICATION EVALUATED ON PRODUCTIVE PERFORMANCE PREDICTION AND PARAMETERS OF SHEEP PHYSIOLOGICAL MORADA NOVA

**ABSTRACT:** The characterization (modeling) of the animal production unit is extremely importance to the project and expansion (industrial scale production) of containment facilities or for real-time simulations of routine problems like sheds. Thus, the aim of this study was to present heuristic models to predict growth performance and physiological parameters of sheep race Morada Nova, depending on the ambient temperature and relative humidity to which the animals were submitted. The model developed has, as input variables: air temperature (° C) and relative humidity (%), and the output variables considered: water consumption (WC, kg), feed intake (FI, kg), respiratory frequency rate (RF, mov.min<sup>-1</sup>), heart rate (HR, beat.min<sup>-1</sup>) and surface temperature (ST ° C). Therefore, this project used the System Identification Toolbox as computational tool for construction of process models. This Toolbox, available in MATLAB® package, offers several features for simulation scenarios and construction of several models that met the needs of this work. Based on the comparison enters the results generated by the model and the experimental yielded coefficients of determination (R<sup>2</sup>) - confidence index - on the order of 0.97; 0.9; 0.96; 0.9957 and 0.9996, for WC, FI, RF, HR and ST respectively.

**KEYWORDS:** Saline water, thermal comfort, mathematical modeling.

## INTRODUÇÃO

Para a região semiárida do Nordeste brasileiro, a atividade pecuária é de considerável relevância, sobretudo a criação de caprinos e ovinos, apesar de ainda apresentarem baixa eficiência na produção. A interação do animal com o ambiente deve ser considerada quando se busca maior produtividade, sendo as diferentes respostas do animal às peculiaridades da região que determinam o sucesso da atividade (COSTA *et al.*, 2012).

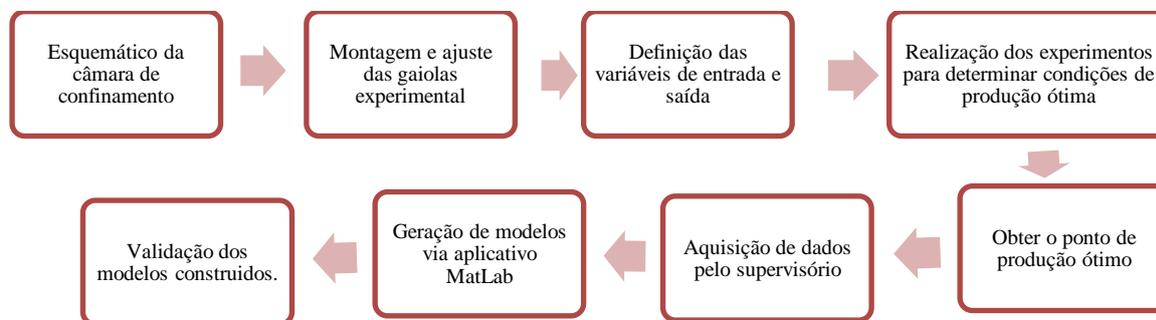
A atividade de identificação e modelagem de sistemas é uma peça fundamental em estruturas de controle mais sofisticadas, tornando possível o conhecimento e quantificação das interações do ambiente com o animal assim como suas influências. Diversos algoritmos, como controle preditivo e controle robusto, além de ferramentas de otimização em tempo real, dedicam boa parte de seus esforços para obter formas satisfatórias de se descrever os sistemas que se deseja controlar ou otimizar (ORENSTEIN, 2013). Uma das ferramentas que pode ser utilizada para construir os modelos matemáticos que fornecem a relação causa-efeito das variáveis de decisão do processo é a identificação de sistemas, em especial os modelos lineares e não lineares. Podendo-se para isso utilizar o *Toolbox System Identification* do Pacote MATLAB®, da MathWorks, como ferramenta de projeto.

Diante disso, este trabalho objetiva apresentar um modelo heurístico, para a predição do desempenho produtivo e parâmetros fisiológicos de ovinos da Raça Morada Nova, submetidos a diferentes temperaturas e variação de umidade relativa do ar.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em câmara climática, pertencente ao Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LaCRA/UAEA/UFCG). Foram confinados nove ovinos fêmeas da Raça Morada nova, com delineamento inteiramente casualizado, sendo utilizadas duas temperaturas (26 e 32°C) e umidade relativa variando entre 62 e 78%. Os dados de produção foram coletados diariamente, sendo eles, Consumo de Água (CA) e Consumo de Ração (CR). E os parâmetros fisiológicos foram aferidos a cada três dias, sendo, Frequência Respiratória (FR), Frequência Cardíaca (CA) e Temperatura Superficial (TS). A metodologia proposta para consecução dos objetivos estabelecidos, consiste na implementação do diagrama de blocos da Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma descritivo da metodologia proposta.



Não existe um roteiro padrão para obter bons modelos em Identificação de Sistemas (ALEXANDRE & LIMA, 2013). O processo de identificação é caracterizado como um processo de busca: busca de uma estrutura de modelo razoável, busca por um modelo representativo de uma dada estrutura, entre outros (AGUIRRE, 2004). Sendo este processo caracterizado por sua forte iteratividade. Além disso, ele não pode ser completamente automatizado; tornando-se necessário a decisões do especialista no sistema que serão agregadas a cálculos numéricos formais para se obter uma eficiência razoável no processo de identificação.

Algumas etapas típicas podem servir de roteiro inicial para se obter um modelo mais adequado, conforme LJUNG (2005), são elas: Tratamento dos dados – visualização, filtragem, remoção de média entre outros; Métodos de identificação não paramétrica: resposta ao impulso, resposta ao degrau, análise da resposta em frequência, entre outros; Métodos de identificação de parâmetros em várias estruturas de modelos; Validação do modelo estimado com os dados experimentais coletados; Comparação com outros modelos estimados.

Neste projeto utilizou-se o *Toolbox System Identification* como ferramenta computacional para implementação dos modelos de Estimação do processo. Este *Toolbox*, disponível no pacote MATLAB®, oferece diversas funcionalidades para simulação de cenários, diversos métodos, opções de

estimação de função de transferência e do modelo do processo que atenderam as necessidades do trabalho.

De posse dos dados é necessário realizar um pré-tratamento dos mesmos e, para isto, foi utilizado um aplicativo do *MATLAB*<sup>®</sup> chamado *ident* que integra o *System Identification*. O *Ident* é, basicamente, uma *interface* gráfica para o usuário (GUI) das funções disponíveis no *toolbox* (LJUNG, 2015). Nele é possível selecionar os arquivos de dados que serão usados tanto para estimar o tipo de modelo (*Working Data*) como para validá-lo (*Validation Data*). É importante destacar que, sempre que possível, sejam utilizados arquivos de dados distintos para a estimação e para a validação evitando que o modelo “aprenda” com os dados usados na modelagem e perca a capacidade de generalização que é fundamental neste processo (ALEXANDRE & LIMA, 2013).

O aplicativo fornece vários métodos (modelos) de identificação de sistemas dentre eles: modelo ARX (do Inglês *Autoregressive with Exogenous Inputs*), modelo ARMAX (do Inglês *Auto Regressive Moving Average with Exogenous Inputs*), modelo OE (*Output Error*), modelo FIR (*Finite Impulse Response*) e expansão ortogonal, modelo Box-Jenkins, mínimos quadrados linear e recursivo, RARX (*ARX Recursive*), modelos não lineares (*Non Linear Model*), *State Space* e *By Initial Model*.  
 dado pela equação linear de diferenças (1),

$$y(k) = a_1 y(k-1) + \dots + a_n y(k-n) + b_1 u(k-1) + \dots + b_m u(k-m) + e(k) \quad (1)$$

, 2, 3...N, onde N é o número de amostras, sendo e(k) um ruído não branco. Reescrevendo (1), isolando y(k), temos,

$$y(k) = a_1 y(k-1) + \dots + a_n y(k-n) + b_1 u(k-1) + \dots + b_m u(k-m) + e(k) \quad (2)$$

O modelo auto regressivo com entradas exógenas (ARX, do Inglês *Autoregressive with Exogenous Inputs*), pode ser obtido a partir do modelo geral (3), sendo A(q) e B(q) polinômios e o operador de quantização, o que resulta em:

$$A(q)y(k) = B(q)u(k) + v(k) \quad (3)$$

Que pode ser reescrita como segue:

$$y(k) = \frac{B(q)}{A(q)} u(k) + \frac{1}{A(q)} v(k) \quad (4)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos experimentalmente apresentam alto grau de correlação cruzada e não linearidade, para tal fato a literatura da área aconselha usar o modelo não linear ARX, sendo usado neste trabalho o modelo de Hammerstein-Wiener, tendo duas entradas (Temperatura e umidade reativa do ar) e uma saída para cada resposta modelada, para corrigir a não linearidade de entrada e saída foi utilizada a transformada de Wavelet, a taxa (intervalo) de amostragem utilizada foi de um segundo e função peso da não linearidade de 10 unidades. Para cada variável estimada foi observado à função perdas (critério de parada do algoritmo) que variou para cada variável estimada. A ordem das funções de transferência ilustradas na equação (4) e os coeficientes a serem estimados da equação (1), foram  $\hat{W} = [22]$  (matriz ponderada das entradas);  $\hat{V} = [33]$  (matriz ponderada das saídas) e  $\hat{U} = [11]$  (matriz ponderada do ruído de medição).

As Figuras 2-6 ilustram a estimação de parâmetros produtivos e fisiológicos dos ovinos em confinamento fornecidos pelo aplicativo “*Ident*” do MatLab. A Figura 7 ilustra o comportamento dos dados medidos no experimento (no caso a resposta da frequência respiratória do animal em função da variação de temperatura ao longo do tempo - amostras), que são usados como entrada do aplicativo para fazer a análise de padrão pelo algoritmo (etapa de aprendizagem do modelo). Os dados utilizados neste trabalho foram coletados durante seis meses de experimento, organizados numa matriz de 8x6000, onde as colunas representam as variáveis medidas (duas entradas e quatro saídas) e as linhas representam as amostras ao longo do tempo. Estes dados foram utilizados para alimentar o estimador de parâmetros na identificação do modelo do processo.

Figura 2 – Predição do consumo de água.

Figura 3 – Predição do consumo de ração.

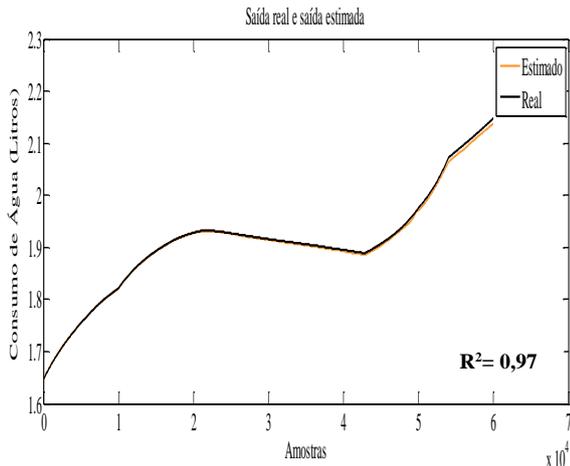


Figura 4 – Predição da frequência cardíaca do animal.

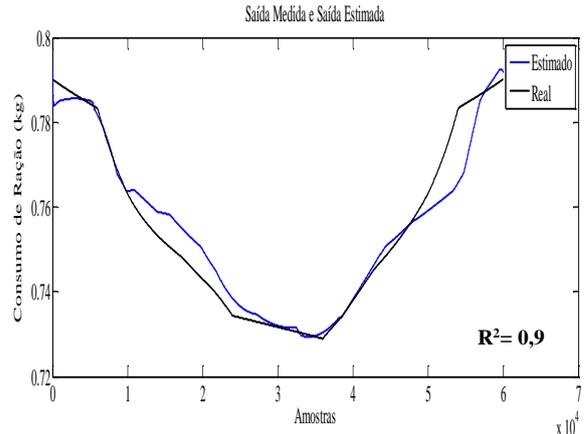


Figura 5 – Predição da frequência respiratória.

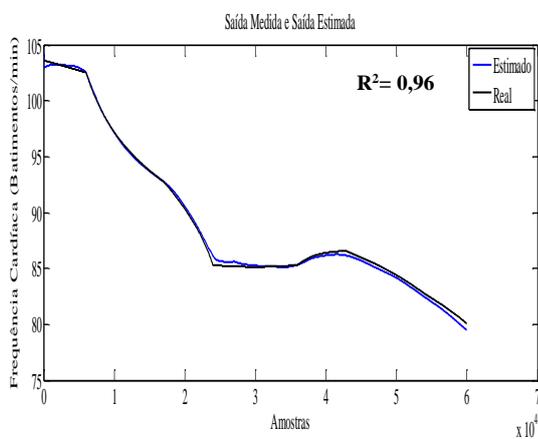


Figura 6 – Estimativa da temperatura superficial.

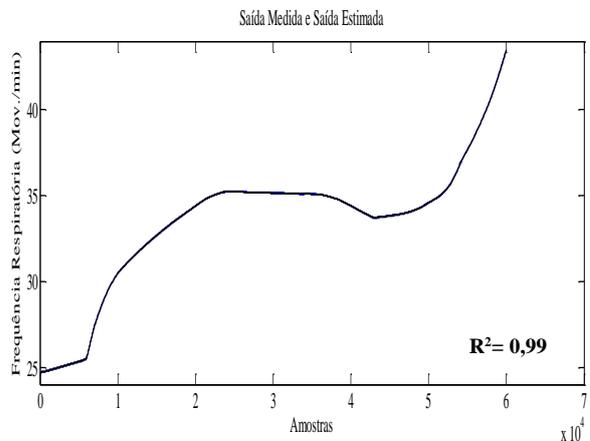
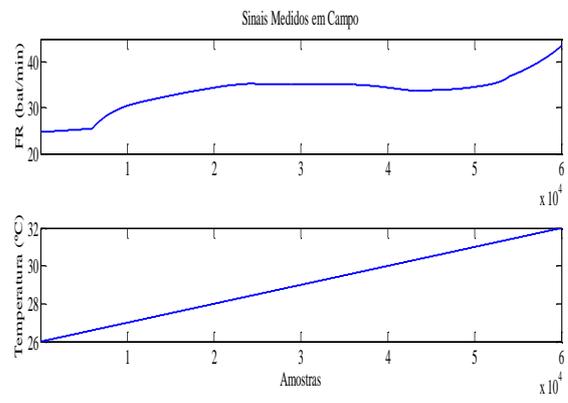
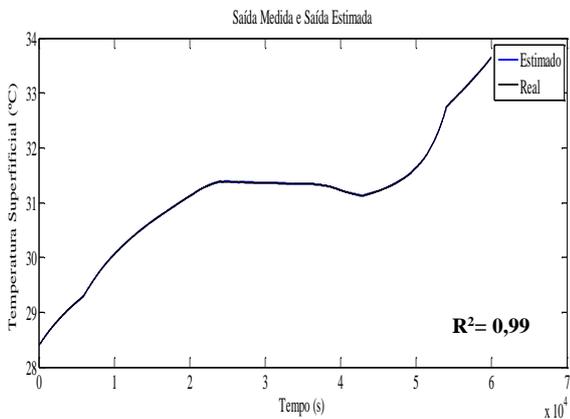


Figura 7 – Entrada e saída medidas.



A dinâmica do processo diz respeito ao estudo de estabilidade dos modelos obtidos, que descrevem o processo (câmara bioclimática e o animal confinado) e que são usadas para fins de controle, por meio da análise do diagrama de *Bode* (reposta em frequência) ou do diagrama de *Nyquist* Figura 7. A análise dos polos e zeros do sistema pode determinar a estabilidade. As Figuras 8 e 9 ilustram os diagramas da resposta ao degrau de temperatura e de umidade relativa para avaliação da frequência respiratória do animal, o qual se percebe que todas as funções são estáveis e controláveis.

A avaliação da resposta ao degrau nas variáveis controladas (temperatura e umidade relativa da câmara) é fundamental para mensurar a influência direta destas variáveis nos parâmetros biofisiológicos do animal, chamado de acoplamento entre variáveis na engenharia de processos, representado pela correlação cruzada das variáveis, sendo maléfico, já no caso da engenharia de produção animal esta característica é positiva, não sendo necessário o uso de desacoplador.

Figura 8 – Resposta ao degrau de Umidade relativa.

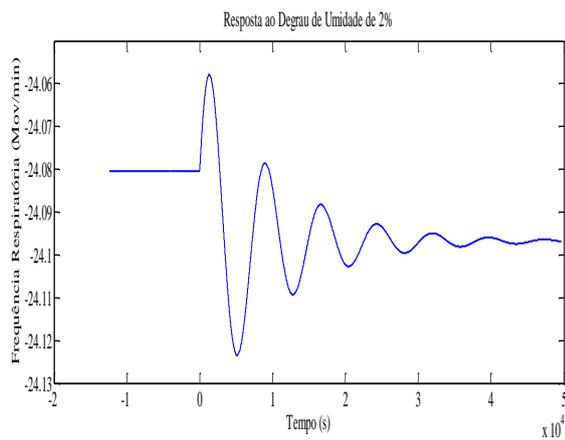
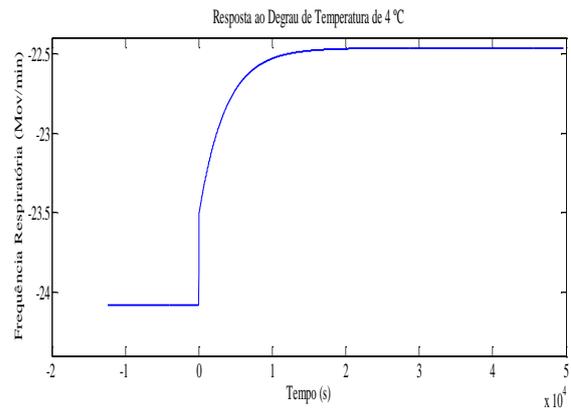


Figura 9 – Resposta ao degrau de temperatura.



Construídos e validados os modelos heurísticos que descrevem a dinâmica do processo, constatado a estabilidade e a controlabilidade dos modelos, a próxima etapa é o projeto e validação dos sistemas de instrumentação e controle aplicados ao processo por meio de ferramentas especializadas.

O ajuste dos parâmetros de um controlador é chamado de sintonia (*tuning*). Quando se tem um modelo matemático, representativo, do sistema, a escolha dos parâmetros do controlador recai no desenvolvimento de um projeto, que pode ser feito com base no método do lugar geométrico das raízes, Ziegler e Nichols ou a sintonia por técnicas inteligentes baseadas no histórico do processo. Contudo o procedimento inicial é avaliar a resposta ao degrau e resposta em frequência para verificar a estabilidade em malha aberta e em malha fechada. Por ser de fácil ajuste a técnica de controle mais usada é a estratégia PID (controlador proporcional, integral e derivativo), implementada em um CLP (controlador lógico programável).

## CONCLUSÃO

Os modelos heurísticos propostos permitem estimar, com eficiência, o consumo de água, consumo de ração, frequência respiratória e frequência cardíaca de ovinos da raça Morada Nova, submetidos a diferentes temperaturas e níveis de salinidade. Tais modelos possibilitam o desenvolvimento de estratégias de controle para a câmara bioclimática, o que pode ser uma motivação para estudos futuros, que visem à automação do processo e conseqüentemente, o re-projeto do sistema de instrumentação e controle da câmara de confinamento, visando à otimização da produção e o bem estar animal.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## REFERÊNCIAS

- Aguirre, L. A. Introdução a Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. 2005. 2ª edição, Editora UFMG.
- Alexandre, G. B. & Lima, A.M.N. Diagnóstico de Falhas e Gestão de Alarmes em Sistemas de Instrumentação e Controle Industrial. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, 2013, Campina Grande, Brasil.
- Ljung L. System Identification: Theory for the User. 2005. Second edition, Prentice Hall Information and System Sciences Series.
- Ljung, L. System Identification Toolbox, User's Guide. MathWorks, 2016.
- Orenstein, L. P. Procedimento para identificação de sistemas dinâmicos em ambiente industrial. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013, Rio de Janeiro, Brasil.