



## Relação entre resistência da casca, frequência ressonante e propriedades físicas do ovo

Deisy Carolina Celis Alba<sup>1</sup>, João Paulo Martins Chiquini<sup>2</sup>, Gabriel Silvero da Silva<sup>1</sup>, Larissa Oliveira dos Santos<sup>1</sup>, Michele Bernardino de Lima<sup>3</sup>, Edney Pereira da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-FCAV, Universidade Estadual Paulista-UNESP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil

<sup>2</sup>Agroceres Multimix Nutrição Animal, Rio Claro, São Paulo, Brasil

<sup>3</sup>Faculdade de Medicina Veterinária, Departamento de Produção e Saúde Animal, Universidade Estadual Paulista- UNESP, Araçatuba, São Paulo, Brasil

### Introdução

O aumento da escala de produção de ovos ocorreu concomitantemente com os avanços na mecanização e automação dos sistemas de produção, especialmente no processamento de ovos, o que também aumentou o número de ovos danificados devido à maior exposição da casca de ovo a choques mecânicos (Hamilton, 2021), saindo de 1,5% de ovos quebrados em sistemas manuais para quase 7% do total de ovos quebrados em sistemas mecanizados. Os relatórios indicam que as perdas de ovos danificados e quebrados podem representar de 8 a 11% da produção total de ovos (Fathi et al., 2019).

Portanto, o controle de qualidade da casca de ovo deve ser monitorado constantemente na granja e pode ser avaliado por métodos diretos e indiretos (Hamilton, 1982). O método direto avalia a resistência da casca do ovo ao impacto por meio de compressão, enquanto os métodos indiretos incluem a gravidade específica, peso e espessura da casca (Hammerle, 1969), além de variáveis relacionadas são forma do ovo. O custo da análise da resistência da casca de ovo e sua viabilidade persistem com o desafio de equilibrar a demanda por monitoramento pelas granjas para controle de qualidade e o acesso a equipamentos para medição como uma análise de rotina. Esta análise tem sido realizada com equipamentos de bancada, que exigem infraestrutura laboratorial e, por esse motivo, parte dos produtores é assistida por meio de laboratórios móveis que oferecem serviços especializados. Portanto, é necessária uma ferramenta que possa ajudar os técnicos a tomar decisões em tempo real, bem como diagnosticar as causas que estão atuando para aumentar as taxas fora da faixa normal. Esta pesquisa foi definida com o objetivo de prever a resistência da casca de ovo por meio de medidas destrutivas e não destrutivas usadas na avaliação da qualidade externa dos ovos de galinhas poedeiras comerciais.

### Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido no Centro de Pesquisa Professor José Maria Lamas da Silva, em Patrocínio, Minas Gerais, Brasil. No total, 683 ovos intactos foram selecionados, identificados e submetidos a uma excitação não destrutiva através de um impulso mecânico manual, utilizando um martelo de excitação para coletar a frequência ressonante (Hz). A frequência ressonante foi medida capturando a frequência sonora emitida durante a excitação em quatro pontos equidistantes na região equatorial da casca do ovo. O sinal acústico foi capturado por um microfone condensador unidirecional com captura no domínio do tempo, utilizando o Audacity® versão 3.0.0 (2021). Em seguida, foi convertido em um sinal acústico em frequência, na faixa de 2 a 9 kHz, através da série de Fourier, por script desenvolvido no software Rstudio.

Foram medidos os valores de comprimento, largura, peso do ovo ( $\lambda$ ), peso da casca de ovo ( $\delta$ ), resistência da casca de ovo ( $\tau$ , kgf) e espessura da casca de ovo ( $\xi$ ,  $\mu\text{m}$ ). Também foram obtidas as variáveis destrutivas, resistência e espessura da casca de ovo, analisadas utilizando o equipamento Digital Egg Test. Com base nas informações de largura e comprimento, foram calculados o índice de forma ( $Q$ ), o diâmetro geométrico médio ( $\Theta$ ), a esfericidade ( $\Phi$ ) e a superfície ( $\pi$ ,  $\text{cm}^2$ ) de acordo com as recomendações descritas por Altuntaş & Şekeroğlu (2008). As variáveis foram submetidas à análise das pressuposições de normalidade e posteriormente à análise de correlação e de regressão linear e múltipla, considerando a resistência da casca de ovo ( $\tau$ ) como variável dependente. As demais variáveis foram declaradas independentes, considerando um modelo de regressão linear múltipla com e sem intercepto, conforme o procedimento de Beal (2005).

Os modelos foram submetidos à análise dos resíduos conforme descrito por Silva et al., (2020). Os resíduos (observado - preditivo) foram regressados de acordo com os valores preditivos conforme o seguinte modelo:  $r_i = b_0 + b_1 (\tau_i - \mu_i) + e_i$ , onde  $r_i$  é o valor residual para a  $i$ -ésima observação,  $b_0$  e  $b_1$  são as estimativas dos parâmetros,  $\tau_i$  é o valor predito para todas as  $i$ -ésimas observações,  $\mu$  é o valor médio para todos os valores preditivos de  $y$ , e  $e_i$  é o erro da regressão dos resíduos sobre os



## XXII CONGRESSO APA DE PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE OVOS

valores preditivos. A regra de decisão assumiu que o modelo era imparcial quando a correlação se aproximava de 1 e quando o  $R^2_{adj}$  se aproximava de 0, ou seja, os resíduos não estavam correlacionados com as previsões. O valor da inclinação,  $b_1$ , em função de  $\tau_i$ , deve tender para zero para que o modelo seja imparcial. Portanto, o valor de  $b_1 \neq 0$  indica o viés de previsão do modelo. O valor de  $b_0$  indica o erro geral e está relacionado à escala da diferença. O valor de precisão do modelo foi calculado considerando  $1 - R^2_{adj}$ .

### Resultados e Discussão

A proximidade entre os valores de média, moda e mediana obtidos para as variáveis relacionadas à forma do ovo ( $Q$ ,  $\Theta$ ,  $\Phi$  e  $\pi$ ) indicou uniformidade na amostragem e essa pouca variabilidade pode ter contribuído para a inclusão de variáveis destrutivas como  $\lambda$  e  $T$  no modelo, que apresentou maior variabilidade entre 7 e 24% de coeficiente de variação (Tabela 1).

**Tabela 1** Estatísticas descritivas para as variáveis frequência de ressonância ( $k$ , MHz), índice de forma ( $Q$ ), diâmetro geométrico médio ( $\Theta$ ), esfericidade ( $\Phi$ ), superfície ( $\pi$ ,  $cm^2$ ), peso do ovo ( $\lambda$ , g), peso da casca ( $\delta$ , g), espessura da casca ( $\xi$ ,  $\mu m$ ) e resistência da casca ( $\tau$ , kgf).

Variável	Média	Moda	Mediana	DP <sup>1</sup>	Máximo	Mínimo	CV <sup>2</sup>
$\kappa$	5,39	4,94	5,29	0,65	8,76	4,06	12,05
$Q$	0,75	0,75	0,75	0,03	0,94	0,63	4,04
$\Theta$	53,18	53,29	53,15	1,59	57,68	43,52	2,98
$\Phi$	120,84	120,39	120,89	3,24	135,28	103,86	2,68
$\pi$	8891,00	8922,04	8873,42	526,97	10452,96	5949,20	5,93
$\lambda$	63,44	60,70	63,50	4,78	78,50	49,60	7,54
$\delta$	5,90	5,76	5,91	0,59	7,77	4,06	10,03
$\xi$	362,52	360,00	360,00	27,52	440,00	260,00	7,59
$\tau$	3,59	3,54	3,62	0,87	6,23	0,89	24,17

<sup>1</sup>Desvio padrão da média; <sup>2</sup>Coefficiente de variação (%).

Ao analisar individualmente, não houve correlação entre as variáveis não destrutivas e a resistência da casca de ovo ( $p > 0,05$ ). As variáveis peso da casca de ovo ( $\lambda$ , g) e espessura da casca de ovo ( $\xi$ ,  $\mu m$ ) foram as únicas que, individualmente, mostraram uma correlação significativa ( $p < 0,05$ ) com a resistência da casca de ovo ( $\tau$ , kgf).

Quando a análise de regressão foi realizada, desconsiderando o intercepto da equação, o ajuste entre os valores observado e previsto foi melhorado. Dessa forma, quatro modelos foram ajustados (Tabela 2), e os dois melhores, de acordo com as estatísticas de ajuste ( $C$ ,  $R^2_{adj}$  e RMSE) e seleção de modelo (AIC,  $b_0$  e  $b_1$ ) foram M1 e M3 sendo este último o que apresentou o menor valor para erro escalar e viés de previsão.

**Tabela 2** Parâmetros estimados para a frequência de ressonância ( $k$ , MHz), esfericidade ( $\Phi$ ), superfície ( $\pi$ ,  $cm^2$ ), peso do ovo ( $\lambda$ , g), peso da casca ( $\delta$ , g), espessura da casca ( $\xi$ ,  $\mu m$ ), estatísticas e seleção de modelos para prever a resistência da casca de ovo ( $\tau$ , kgf).

Models	$\kappa$	$\Phi$	$\pi$	$\lambda$	$\delta$	$\xi$	RMSE	$R^2_{adj}$	AIC	$b_0$	$b_1$
M1	-0,120	0,046	-0,0008		0,919		0,748	95,9	-391,8	0,333 <sup>ns</sup>	0,009 <sup>ns</sup>
M2	-0,123	0,040	-0,0007		0,808	0,002	0,748	95,9	-391,6	0,469*	0,143 <sup>ns</sup>
M3	-0,113	0,042	-0,0006	-0,018	0,948		0,748	95,9	-391,3	0,007 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>
M4	-0,116	0,037	-0,0006	-0,017	0,839	0,002	0,748	95,9	-391,0	0,901**	0,120 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>, não significativo; \* $P$ -valor  $< 0,05$ ; \*\* $P$ -valor  $< 0,01$ ; RMSE, erro quadrático médio;  $R^2_{adj}$ , coeficiente de determinação ajustado.; AIC, Critério de Informação de Akaike;  $b_0$ , erro escalar;  $b_1$ , viés de previsão.

De acordo com os modelos ajustados, a variável  $k$  apresentou uma relação inversa com  $\tau$ , de forma que para cada 1 MHz medido em  $k$ , espera-se uma diminuição aproximada de -0,120 kgf na resistência da casca. Ovos com menor resistência à casca têm características físicas diferentes daqueles com maior resistência, fato que explica a mudança nos valores de  $k$ , uma vez que a onda sonora necessita de um meio para sua propagação.



## XXII CONGRESSO APA DE PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE OVOS

A variável  $\pi$  mostrou uma relação inversa com  $\tau$ , de forma que quanto maior o valor de  $\pi$ , menor sua resistência. Essa relação pode ser explicada pela independência da deposição de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) em relação ao tamanho do ovo, portanto, ovos com maior  $\pi$  têm menor deposição do mineral por unidade de área, conferindo uma resistência ( $\tau$ ) menor (Altuntaş & Şekeroğlu, 2008).

No presente estudo, a variável  $\Phi$  foi diretamente relacionada com  $\tau$ , de forma que quanto maior a esfericidade do ovo, maior sua resistência. Essa relação é sustentada pelos resultados encontrados pelos pesquisadores Altuntaş & Şekeroğlu (2008), que identificaram que ovos com índice de forma superior a 76 e esfericidade mais uniforme são mais fortes. As variáveis  $\delta$  e  $\tau$  estão relacionadas, de forma que quanto maior o peso da casca de ovo, maior sua resistência, esse resultado está de acordo com o que foi relatado na literatura, conforme explicado por Wang & Yu (2004), que ovos com maior peso de casca de têm maior gravidade específica, indicando maior eficiência da ave na deposição de cálcio por área de casca, gerando, dessa forma, melhor qualidade e resistência.

Essa característica está relacionada à estrutura do modelo M3, que difere do modelo M1 devido à inclusão da variável peso do ovo, o que resultou em melhores estatísticas para avaliar o erro de previsão. Outro aspecto importante nesta pesquisa foi o uso de métodos alternativos para avaliar os modelos, uma vez que as estatísticas tradicionais ( $\epsilon$ ,  $R^2$ adjt, RMSE e AIC) não segregaram os modelos ajustados, confirmando a necessidade de avaliar o erro de previsão (St-Pierre, 2003; Silva et al., 2020).

### Conclusões

Recomenda-se o modelo (M3) para prever a resistência da casca de ovo. Este modelo considera medições destrutivas e não destrutivas como variáveis de entrada e, portanto, estudos futuros devem ser realizados com o objetivo de obter um método não destrutivo para prever a resistência da casca de ovo.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Professor Nelson José Peruzzi pela realização das análises estatísticas e a Agrocerec Multimix por disponibilizar o uso das estruturas.

### Referências Bibliográficas

- ALTUNTAŞ, E.; A. ŞEKEROĞLU. Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. **Journal of Food Engineering** v. 85, n. 4, p. :606-612, 2008.
- HAMILTON, R. M. G. Methods and factors that affect the measurement of egg shell quality<sup>1,2</sup>. **Poultry Science**, v. 61, n. 10, p. 2022-2039, 1982.
- HAMILTON, R. M. G.; W. L. BRYDEN. Relationship between eggshell breakage and laying hen housing systems – an overview. **World's Poultry Science Journal**, v. 77, n. 2, p. 249-266, 2021.
- FATHI, M. M.; A. GALAL, U. M. ALI.; et al. Physical and mechanical properties of eggshell as affected by chicken breed and flock age. **British Poultry Science**, v. 60, n. 5, p. 506-512, 2019.
- HAMMERLE J.R. An engineering appraisal of eggshell strength evaluation techniques. **Poultry Science**, v. 48, p.1708-1717, 1969.
- BEAL, D. J. SAS Code to Select the Best Multiple Linear Regression Model for Multivariate Data Using Information Criteria. **Science Application International Corporation**, p. 1-6, 2005.
- SILVA, E. P., M. B. LIMA, N. K. SAKOMURA, et al. Weight gain responses of laying-type pullets to methionine plus cystine intake. **Animal**, v. 14, n. 2, p. s294-s302, 2020.
- St-PIERRE, N. R. Reassessment of biases in predicted nitrogen flows to the duodenum by NRC 2001. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 1, p. 344-350, 2006.
- WANG, J., R. S. JIANG, AND Y. YU. Relationship between dynamic resonance frequency and egg physical properties. **Food Research International**, v. 37, n.1, p. 45-50, 2004.