

## ACCEPTED MANUSCRIPT

Correção de medidas ultrassonográficas de carcaças em coelhos Nova Zelândia com covariáveis usando modelo misto



Sued Felipe Barjud Lacerda, Natanael Pereira da Silva Santos, Daniel Biagiotti, Vanusa Castro de Sousa, Marisa Karen de Sousa Almeida, Francisco Albir Lima Júnior, José Lindenberg Rocha Sarmento

Referência: v.25, n.1-2, p.13-18, 2023.

A ser publicado em: Revista Científica de Produção Animal

Favor citar este artigo como: Lacerda, S. F. B., Santos, N. P. S., Biagiotti, D., Sousa, V. C., Almeida, M. K. S., Lima Júnior, F. AL., Sarmento, J. L. R., Correção de medidas ultrassonográficas de carcaças em coelhos Nova Zelândia com covariáveis usando modelo misto. Revista Científica de Produção Animal, v.25, n.1-2, p.13-18, 2023.

Este é um arquivo PDF de um manuscrito não editado que foi aceito para publicação. Como um serviço aos nossos clientes, estamos fornecendo esta versão preliminar do manuscrito. O manuscrito passará por edição, composição e revisão antes de ser publicado em sua forma final. Observe que, durante o processo de produção, podem ser encontrados erros que podem afetar o conteúdo, e todas as isenções de responsabilidade legais aplicáveis à revista são válidas.

## Correção de medidas ultrassonográficas de carcaças em coelhos nova zelândia com covariáveis usando modelo misto

Sued Felipe Barjud Lacerda<sup>1</sup>  
Natanael Pereira da Silva Santos<sup>3</sup>  
Daniel Biagiotti<sup>2</sup>  
Vanusa Castro de Sousa<sup>1</sup>  
Marisa Karen de Sousa Almeida<sup>1</sup>  
Francisco Albir Lima Júnior<sup>3</sup>  
José Lindenberg Rocha Sarmento<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Piauí – Campus Cinobelina Elvas.

<sup>2</sup>Colégio Técnico de Bom Jesus PI, BR 135, km 3 - Bairro Planalto Horizonte - CEP:64900-000 Bom Jesus, PI, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portela, Departamento de Zootecnia/CCA/UFPI

<sup>4</sup>Departamento de Zootecnia/CCA/UFPI, Pesquisador do CNPq.

### RESUMO

Objetivou-se avaliar o uso do comprimento e profundidade da área de olho de lombo como covariáveis para corrigir as estimativas da área de olho de lombo do músculo *Longissimus dorsi* em coelhos da raça Nova Zelândia por meio de modelos mistos. Foram utilizados 5 coelhos aos 104 dias de idade os quais foram abatidos após análises com ultrassom para comparar com a medida real da área de uma seção do corte do músculo *Longissimus dorsi* (área do olho de lombo). As análises foram realizadas utilizando modelos mistos em delineamento de blocos completos ao acaso, com cinco tratamentos (operadores), como efeito fixo, e cinco blocos (animais), como efeito aleatório, considerando-se: a inexistência de covariáveis; com a covariável comprimento de olho de lombo; com a covariável profundidade de olho de lombo; e com ambas covariáveis no modelo estatístico. A inclusão da covariável comprimento proporcionou maior precisão experimental, demonstrada pelo coeficiente de variação (1.54%), além de valores dos coeficientes de determinação ajustado ou não, 0.84 e 0.83, respectivamente. A presença desta covariável também proporcionou menores valores nos critérios de escolha Akaike corrigido ou não e Bayesiano de Schwarz. Com redução de 126% no critério de informação de Akaike e 117% de Akaike corrigido, 142% no Bayesiano, comparando com modelo sem as covariáveis, além de menor resíduo. A inclusão da covariáveis comprimento da área de olho de lombo medida obtida via ultrassonografia para a correção da área do músculo *Longissimus dorsi* em modelos mistos melhora a precisão experimental. O efeito dos avaliadores na medida da área desse músculo somente foi detectado com o uso dessa covariável, sendo recomendado o seu uso.

**Palavras-chave:** ancova, avaliação de carcaça, cunicultura, *Longissimus dorsi*, produção de carne.

### Correction of ultrasound measurements of carcasses in New Zealand rabbits with different covariates using a mixed linear model

#### ABSTRACT

The objective was to evaluate the use of length and depth of the rib eye area as covariates to correct estimates of the rib eye area of the *Longissimus dorsi* muscle in New Zealand rabbits using mixed models. Five rabbits were used at 104 days of age, which were slaughtered after ultrasound analysis to compare with the actual measurement of the area of a section of the *Longissimus dorsi* muscle cut (ribeye area). The analyzes were carried out using mixed models in a randomized complete block design, with five treatments (operators), as a fixed effect, and five blocks (animals), as a random effect, considering: the lack of covariates; with a covariable rib eye length; with the covariate rib eye depth; and with both covariates in the statistical model. The inclusion of the length covariate provided greater experimental precision, demonstrated by the coefficient of variation (1.54%), in addition to the values of the adjusted or unadjusted coefficients of determination, 0.84 and 0.83, respectively. This covariate presence also provided lower values in the corrected or uncorrected Akaike and Schwarz Bayesian choice criteria. With a reduction of 126% in the Akaike information strategy and 117% in the corrected Akaike, 142% in the Bayesian, compared to the model without the covariates, in addition to less exclusion. The inclusion of the covariates length of the loin eye area measured obtained via ultrasound for the correction of the *Longissimus dorsi* muscle area in mixed models improved experimental precision. The effect of those evaluated on the measurement of the area of this muscle was detected only with the use of this covariate, and its use is recommended.

**Key words:** ancova, carcass evaluation, rabbit farming, *Longissimus dorsi*, meat production.



## INTRODUÇÃO

A produção mundial da carne de coelho vem crescendo nos últimos anos, sendo esse um reflexo da diversificação de alimentos e uma tendência pela procura de alimentos saborosos e saudáveis por parte dos consumidores. A carne de coelho tem ganhado espaço devido a qualidade nutricional (Abd-Allah e Abd-Elaziz, 2018), sendo desenvolvidas pesquisas para melhor entendimento do ciclo produtivo e comercialização da carne pelo mundo (Dalle Zotte, 2014; Gasco et al., 2019).

A avaliação de características de carcaça é crucial no intuito de disponibilizar carne de qualidade para o mercado. A mensuração de características de carcaça de forma direta nos animais é onerosa, pois necessita do abate dos indivíduos, além de ser necessário esperar até a idade de abate para realizar a medida. Como alternativa a esse processo, o uso da ultrassonografia em animais in-vivo para mensurar as características de carcaça tem sido difundido (Silva et al., 2012), sendo uma área do músculo Longissimus dorsi (área do olho do lombo) bastante avaliada pela sua correlação com a qualidade final da carcaça (Gandra et al., 2019). A profundidade de olho de lombo (POL), outra medida do respectivo músculo, pode prever a quantidade de músculo da carcaça e possui alta correlação com a Área de Olho de Lombo (AOL) (Hashimoto et al., 2007). Conforme descrito por Pinheiro et al. (2010), uma outra medida tomada do músculo o comprimento de olho de lombo (COL), possui alta correlação com a área de olho de lombo, medida diretamente relacionada com o rendimento da carcaça.

Vale destacar que segundo Metzger et al. (2006), os estudos, relacionados às medidas do músculo em questão em coelhos, auxiliam nas tomadas de decisões no que se refere à qualidade produtiva e fundamenta a utilização do conhecimento tecnológico que a atividade exige e sem mencionar que devido o crescente interesse na cunicultura, dados coerentes de características de carcaça de coelhos ainda são escassas.

A avaliação de características de carcaça por meio da ultrassonografia pode não ser precisa na avaliação dos indivíduos, pois depende da manipulação do animal e da habilidade do operador do aparelho (Girardi et al., 2009). Nesse sentido, a padronização do local de medida no animal, manuseio do aparelho e operador tem sido observadas no momento da coleta de fenótipos por ultrassonografia. Assim, medidas relacionadas com a Área de Olho de Lombo (AOL) que podem ser obtidas com menor erro, poderiam ser utilizadas como covariáveis para minimizar o erro do operador no cálculo da área de olho de lombo, já que as estimativas presentes em trabalhos anteriores, foram menos acuradas e com um maior erro experimental, sem a inclusão de covariáveis (Santos et al., 2019).

Quando adequado o uso da análise de covariância, essa técnica pode proporcionar maior poder de análise devido ao aumento da precisão experimental pela remoção de parte da variância na variável dependente que é dada em função da covariável (Wang; Ogburn; Rosenblum, 2019). Essa técnica aliada ao uso de modelos mistos é promissora para correção da área de olho de lombo em coelhos (Santos et al., 2019).

Dessa forma, objetivou-se avaliar o uso do comprimento e profundidade da área de olho de lombo

como covariáveis para melhorar a estimativa de medidas de carcaça em coelhos Nova Zelândia.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Módulo Didático-Produtivo de Cunicultura em Bom Jesus- Piauí, Brasil, com lâparos da raça Nova Zelândia com 104 dias de vida, em outubro do ano de 2019, com autorização da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) sob processo cadastrado com Nº 328/17.

Foram utilizados cinco animais (unidades experimentais), oriundos de uma mesma matriz (irmãos completos), nascidos no mesmo dia e desmamados aos 30 dias de idade. Após o desmame, os animais foram criados em gaiolas individuais, de ferro galvanizado, medindo 0,80m × 0,75m × 0,67m (comprimento × largura × altura), dotadas de comedouro e bebedouro, ambos de plástico. Os animais receberam água e ração comercial peletizada (níveis mínimos garantidos: matéria seca 88%; umidade 12%; proteína bruta 17%; extrato etéreo 3,37; fibra bruta 15%; matéria mineral 12%; cálcio 2%; fósforo total 0,75%; lisina 0,94%; metionina+cistina 0,63%; energia digestível 2300 kcal/g) à vontade.

Os animais foram pesados aos 104 dias de vida, em balança digital, e a variação de pesos e sexo entre eles foi o critério usada para adotar a estrutura de blocagem. A mensuração das características de carcaça foi realizada aos 104 dias de vida dos animais, utilizando aparelho de ultrassom KX2000G VET, equipado com transdutor linear de 5MHz. Assim, foram amostradas: a área do olho de lombo (AOL); profundidade do olho de lombo (POL); e comprimento do olho de lombo (COL). Essas características foram medidas no próprio aparelho de ultrassom, com a função de delimitação da imagem, fornecendo imediatamente as medidas.

A coleta dos dados foi feita de forma aleatória em cada coelho e realizada por cinco operadores diferentes, com experiência na avaliação de carcaça. Vale destacar que, para as três características de carcaça (AOL, COL e POL), foram realizadas duas mensurações em cada animal por operador e adotada a média entre as observações, visto não haver variação significativa nas medidas do mesmo operador na mesma unidade experimental.

Com a finalidade de evitar distorções nas imagens ultrassonográficas, realizou-se tricotomia da região de medição situada, aproximadamente 1,5cm em relação à linha média dorsal entre a 12ª e 13ª vértebras torácicas, no lado esquerdo. As imagens coletadas foram avaliadas no músculo Longissimus dorsi, por servir para avaliação de características como terminação e musculabilidade e comparado com a medida real através de uma seção do músculo *Longissimus dorsi*.

A fim de saber se a análise com a inclusão das covariáveis foi eficiente em corrigir o valor médio da AOL, após as mensurações in vivo da AOL, COL e POL tomadas por meio de ultrassonografia no animal, os animais foram abatidos e tiveram as mesmas medidas (AOL, COL e POL) observadas diretamente no músculo Longissimus dorsi mensurado. Para isso, o corte da seção do Longissimus dorsi foi fotografada em uma folha com uma régua para obter um ponto de referência transferida para o software Bio7, contornando a imagem, (Figura 1) a qual foi processada para determinar a área em cm<sup>2</sup>.

O modelo linear misto adotado pode ser descrito matricialmente pela expressão:

$$Y = X\beta + Zu + \varepsilon$$

Em que:  $Y$  é o vetor dos dados;  $X$  é a matriz de incidência dos efeitos fixos;  $\beta$  é o vetor de efeitos fixos a serem estimados;  $Z$  é a matriz de incidência de efeitos aleatórios;  $u$  é o vetor de efeitos aleatórios; e  $\varepsilon$  é o vetor de erros aleatórios associados a cada observação.



**Figura 1.** Uso do Software Bio7 para medir o corte de uma seção do músculo *longissimus dorsi*.

Assumiu-se que os efeitos aleatórios e os erros têm distribuição normal, com média zero, e são “não” correlacionados, com matrizes de variâncias e covariâncias, respectivamente,  $G$  e  $R$ ;  $G$  e  $R$  são matrizes positivas definidas e, portanto, não singulares, dadas por:

$$\text{Var}(u) = E(uu') = G \text{Var}(\varepsilon) = E(\varepsilon\varepsilon') = R$$

Matricialmente, tem-se:

$$\text{Var} \begin{bmatrix} U \\ \varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}, \text{ Desse modo,}$$

$$\text{Var}(Y) = \text{Var}(X\beta) + \text{Var}(Zu) + \text{Var}(\varepsilon) = Z\text{Var}(u)Z' + R$$

$$\text{Assume-se que a } E(Y) = E(X\beta + Zu + \varepsilon) = X\beta.$$

$$\text{Assim, } Y \sim N(X\beta; ZGZ' + R).$$

Foram realizadas análises em delineamento de blocos completos ao acaso, utilizando modelos mistos com cinco tratamentos (operadores) e cinco blocos (animais), considerando-se na análise: a inexistência de covariáveis (modelo 1); a covariável comprimento de olho de lombo (modelo 2); a covariável profundidade de olho de lombo (modelo 3); e as duas covariáveis (comprimento e profundidade de olho de lombo) (modelo 4). Como os animais são uma amostra aleatória, o efeito de bloco foi considerado como aleatório. No modelo misto, consideraram-se as covariáveis (COL e POL) como medidas com efeito fixo sem erro, independentemente do tratamento. Os modelos podem ser descritos como:

Modelo 1 sem as covariáveis

$$Y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij}$$

Modelo 2 com a covariável profundidade do olho de lombo

$$Y_{ij} = m + t_i + \beta_p(P_{ij} - \bar{P}) + b_j + e_{ij}$$

Modelo 3 com a covariável comprimento do olho de lombo

$$Y_{ij} = m + t_i + \beta_c(C_{ij} - \bar{C}) + b_j + e_{ij}$$

Modelo 4 com as duas covariáveis profundidade e comprimento do olho de lombo

$$Y_{ij} = m + t_i + \beta_c(C_{ij} - \bar{C}) + \beta_p(P_{ij} - \bar{P}) + b_j + e_{ij}$$

em que:  $Y_{ij}$  representa a medida de interesse do operador  $i$  ( $t_i$  com  $i = 1, 2, \dots, 5$ ) no animal  $j$  ( $b_j$  com  $j = 1, 2, \dots, 5$ );  $m$  é a média geral do experimento;  $\beta_p$ , o coeficiente de regressão linear da covariável (COL e POL) sobre  $Y$ ;  $C_{ij}$  representa o valor da covariável comprimento do olho de lombo medida pelo

operador no animal  $j$ ;  $\bar{C}$  média da covariável comprimento de olho de lombo em todo o ensaio;  $P_{ij}$  representa o valor da covariável profundidade do olho de lombo medida pelo operador  $i$  no animal  $j$ ;  $\bar{P}$  a média da covariável profundidade de olhodelombo em todo o ensaio;  $b_j$  é o efeito aleatório do animal  $j$  (bloco);  $e_{ij}$  o erro experimental associado às observações  $Y_{ij}$ .

Para a avaliação da precisão experimental, foi calculado o coeficiente de variação experimental (CV%), em porcentagem da média:  $CV = 100 \times ((QM_{\text{erro}})^{0.5} / \bar{Y})^0$ , em que:  $QM_{\text{erro}}$  corresponde ao quadrado médio do erro, e  $\bar{Y}$  a média das observações. Foi determinado o valor da estatística  $R^2$ , neste trabalho designada por coeficiente de determinação, obtida pela razão entre a soma de quadrados do tratamento e a soma de quadrados total. Já o coeficiente de determinação ajustado ( $\bar{R}^2$ ), foi obtido conforme:

$$\bar{R}^2 = R^2 - \frac{1}{n-2}(1-R^2)$$

Foram utilizados para a escolha do modelo os critérios de informação de Akaike - AIC (Akaike's Information Criterion), o de Schwarz - BIC (Bayesian Information Criterion) e o de Akaike corrigido - AICC, que permitem a seleção de modelos mais parcimoniosos, pois penalizam aqueles com número excessivo de variáveis independentes (Burnham e Anderson, 2004; Saxton, 2004), ou seja, nem sempre o modelo mais parametrizado é melhor. Assim, quanto menores os valores de AIC, BIC e AICC, melhor. Os critérios podem ser calculados como:

$$AIC = -2 \log LR + 2q$$

$$BIC = -2 \log LR + q \log(n)$$

$$AICC = -2 \log LR + 2q + 2 \frac{q(q+1)}{n-q-1}$$

sendo: LR a função de verossimilhança restrita,  $q$  a dimensão do modelo (número de efeitos fixos e aleatórios),  $n$  o número de observações, logo- logaritmo neperiano. Os critérios estão ordenados em aumento de preferência para parcimônia.

Avaliou-se a utilização dos animais como heterogêneos em função da precisão do experimento, verificada pela efetividade dos blocos (EB), cuja fórmula é expressa por:

$$EB = \frac{(j-1)QM_{\text{bloco}} + j(i-1)QM_{\text{erro}}}{(ij-1)QM_{\text{erro}}}$$

Para garantir a utilização das medidas de profundidade e comprimento do olho de lombo como covariáveis, foi realizada uma análise prévia de correlação e de variância, com a finalidade de verificar, respectivamente, a associação entre as variáveis (POL, COL e AOL) e a influência dos tratamentos sobre as covariáveis (POL e COL).

Todas as análises estatísticas foram realizadas usando-se os procedimentos MIXED e CORR contidos no programa SAS-Statistical Analysis Systems (Saxton, 2004). A significância das fontes de variações foram observadas pelo teste F e as médias foram comparadas usando a diferença dos quadrados mínimos de Fisher (com a opção DIFF do comando LSMEANS). Em todas as análises, a significância foi declarada a ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da ausência de significância ( $P > 0,05$ ) do efeito principal sobre as covariáveis COL e POL indicam a possibilidade de uso dessas medidas como covariáveis em

ANCOVA para avaliação da área do olho do lombo, uma vez que a independência entre os efeitos da covariável e o efeito do tratamento é uma pressuposição para a realização da ANCOVA, sendo importante verificá-la para evitar equívocos no uso dessa estratégia de análise (Kraemer, 2015).

Houve redução na variação residual (QM do erro) do modelo para avaliar a área do músculo Longissimus dorsi nos animais quando houve a inclusão das covariáveis, resultando em redução do coeficiente de variação (Tabela 1).

O valor do coeficiente de variação diminuiu de 2,17% no modelo sem a inclusão de covariáveis para 1,52% com inclusão das duas covariáveis COL e POL, sendo essa uma redução de

29,95% no CV experimental, menor CV indica melhor precisão experimental.

A análise de covariância proporciona melhor precisão experimental (Wang et al., 2019). No caso da área de olho de lombo em coelhos, os resultados do CV dessa pesquisa podem ser considerados baixos, de acordo com Faria Filho et al. (2016), que classifica, para rendimento de carcaça, como baixo CV menor ou igual a 5,18%. No entanto, não foram encontrados valores de CV para variáveis de área de olho do lombo de coelhos. De qualquer forma, a inclusão das covariáveis promoveu menores CV, sendo recomendado uso do COL e como uma estratégia para melhorar a precisão experimental no intuito de evitar equívocos em comparações dos tratamentos.

**Tabela 1.** Resumo das análises de variância com e sem covariáveis, critérios de escolha de modelos e eficiência dos blocos (EB) na avaliação da área do músculo Longissimus dorsi em coelhos Nova Zelândia abatidos aos 104 dias de idade.

Modelo	FV	GL	QM	F	CV	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	AIC	BIC	AICC	EB
Modelo 1	Operador	4	0,085	0,099ns	2,17	0,67	0,66	9,50	8,80	10,20	1,81
	Animal	4	0,211	0,004*							
	Erro	16	0,036	-							
Modelo 2	Operador	4	0,048	1,47ns	2,06	0,72	0,71	5,10	4,30	5,80	1,53
	Animal	4	0,137	0,018*							
	Cov_P	1	0,087	0,125ns							
	Erro	15	0,033	-							
Modelo 3	Operador	4	0,083	4,46*	1,54	0,84	0,83	-2,50	-3,30	-1,80	2,31
	Animal	4	0,159	8,57*							
	Cov_C	1	0,303	16,37*							
	Erro	15	0,018	-							
Modelo 4	Operador	4	0,061	3,39*	1,52	0,86	0,85	-4,80	-5,50	-4,00	2,00
	Animal	4	0,126	7,09*							
	Cov_C	1	0,244	13,71*							
	Cov_P	1	0,028	1,57ns							
	Erro	14	0,018	-							

Modelo 1: sem covariável; modelo 2: com a covariável Profundidade da área de olho de lombo; modelo 3: com a covariável comprimento da área de olho de lombo; modelo 4: com ambas covariáveis descritas; FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; F: F de Snedecor; CV: coeficiente de variação em porcentagem (%); R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; adjR<sup>2</sup>: coeficiente de determinação ajustado; AIC: critério de informação de Akaike; BIC: critério de informação bayesiano; AICC: critério de informação de Akaike corrigido; ns – não significativo; \*significativo (P≤0,05).

O valor do coeficiente de variação diminuiu de 2,17% no modelo sem a inclusão de covariáveis para 1,52% com inclusão das duas covariáveis COL e POL, sendo essa uma redução de 29,95% no CV experimental, menor CV indica melhor precisão experimental.

A análise de covariância proporciona melhor precisão experimental (Wang et al., 2019). No caso da área de olho de lombo em coelhos, os resultados do CV dessa pesquisa podem ser considerados baixos, de acordo com Faria Filho et al. (2016), que classifica, para rendimento de carcaça, como baixo CV menor ou igual a 5,18%. No entanto, não foram encontrados valores de CV para variáveis de área de olho do lombo de coelhos. De qualquer forma, a inclusão das covariáveis promoveu menores CV, sendo recomendado uso do COL e como uma estratégia para melhorar a precisão experimental no intuito de evitar equívocos em comparações dos tratamentos.

O efeito da covariável COL foi significativo tanto no modelo em que ela apareceu como única covariável como no modelo que aparece junto com a covariável POL, enquanto a covariável POL não foi significativa quando da sua inclusão nos modelos (Tabela 1). É interessante observar também que a variância residual foi menor quando a covariável COL estava presente no modelo e que o uso das duas covariáveis não proporcionou diferença na variância residual quando comparada ao uso apenas da variável COL.

Além disso, o COL demonstrou relação direta com o a área do olho de lombo que pode influenciar no resultado final, demonstrando também a importância do modelo ANCOVA, podendo ser analisadas os efeitos de

forma independentes e/ou conjuntas. A covariável COL apresentou maior impacto na redução da variância residual do que a POL, quando isoladas em modelos diferentes, além disso apenas a covariável COL promoveu mudança na significância para o efeito do operador (Tabela 1).

O efeito de operador não apresentou diferença quando a análise foi feita utilizando apenas o modelo 1 sem as covariáveis e quando foi usada apenas a POL da área do olho do lombo dos coelhos na correção. Isso ocorreu devido a correção da variável dependente com as covariáveis na ANCOVA, que permite aumentar o poder da análise, que implica em maior chance de detectar a significância do efeito do fator quando ele existe (Miller e Chapman, 2001).

Esses resultados divergem dos observados por Santos et al. (2019), que observaram significância para os operadores apenas quando foram incluídas as covariáveis COL e POL no modelo. A verificação da significância nos modelos que utilizaram a COL como covariável pode estar relacionada a maior redução da variância residual com a inclusão desse efeito (Tabela 1). Além disso, foi observado um aumento substancial no coeficiente de determinação (ajustado ou não) quando essa covariável foi utilizada (mais de 10%), sugerindo que o modelo com o ajuste da COL explica maior proporção da variação na área do músculo Longissimus dorsi, proporcionando melhor ajuste.

As diferenças entre o coeficiente de determinação não ajustado e ajustado foram muito pequenas tanto no modelo apenas com a COL (0,84 e 0,83, respectivamente) como com as duas covariáveis juntas

(0,86 e 0,85, respectivamente). De acordo com Santos et al. (2019), o coeficiente de determinação ajustado é corrigido para os graus de liberdade das somas de quadrados associados a ele, protegendo do super ajuste do modelo que pode ocorrer quando esse ajuste não é feito. Esses autores observaram valores de coeficiente de determinação maiores que nessa pesquisa, no entanto, os valores de R2 e R2 ajustado nesse estudo podem ser considerados elevados e abonam o uso da análise de covariância.

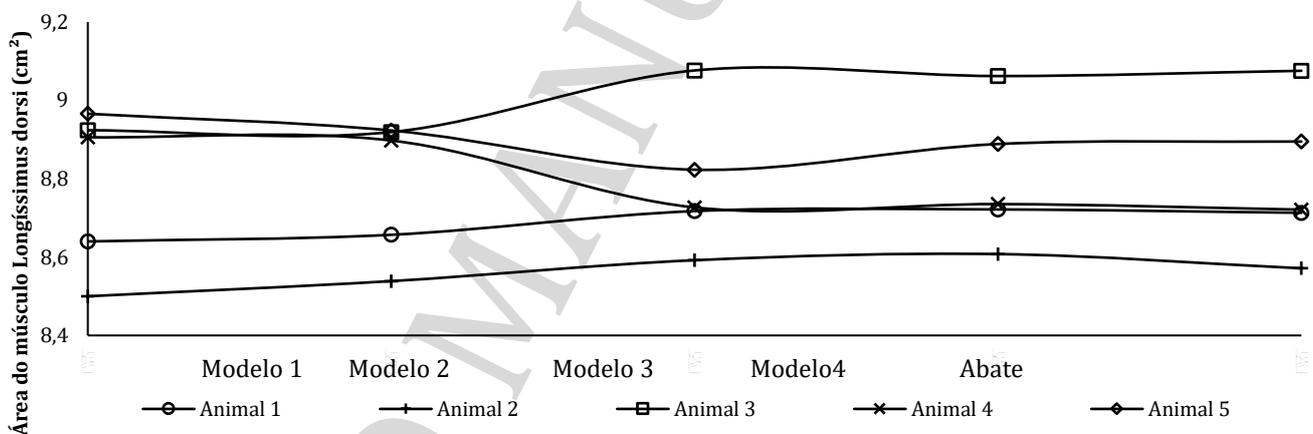
Além dos coeficientes de determinação, os valores de AIC, AICC e BIC também apontam que os modelos com a inclusão de covariáveis são mais adequados para o ajuste da área de olho de lombo em coelhos (Tabela 1). O melhor modelo de acordo com o AIC, AICC e BIC foi o que incluiu a covariável COL.

A avaliação da eficiência dos blocos demonstrou que para alcançar resultados semelhantes aos deste experimento seriam necessárias em torno de duas repetições a mais, caso ele fosse realizado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) (Tabela 1).

Esse número de repetições a mais foi menor do que os apresentados por Santos et al. (2019) para o modelo com o ajuste das covariáveis COL e POL, que afirmaram serem necessárias sete repetições caso o experimento fosse realizado em DIC.

O menor número de repetições nessa pesquisa pode estar relacionado ao menor CV para área do músculo Longissimus dorsi dos coelhos, que está relacionado a menor instabilidade e, conseqüentemente, menor quantidade de repetições necessárias além disso no modelo 3 com a inclusão da covariável COL, houve uma redução residual de 50% explicando melhor o experimento.

As médias da área de lombo após o abate dos coelhos, obtidas via software Bio7, variaram de 8,3131 a 9,2127 cm<sup>2</sup>, apresentando amplitude maior do que as ajustadas nos modelos sem e com covariáveis, que foram obtidas via ultrassonografia (Figura 2 e Tabela 2). As amplitudes das médias ajustadas com os modelos estudados foram semelhantes, com uma pequena diminuição no modelo que levou em consideração o uso da covariável POL.



**Figura 2.** Médias da área do músculo Longissimus dorsi (mm<sup>2</sup>) de coelhos Nova Zelândia ajustadas sem e com covariáveis. modelo 1: delineamento em blocos ao acaso sem covariável; modelo 2: delineamento em blocos ao acaso com uma covariável (profundidade de olho de lombo); modelo 3: delineamento em blocos ao acaso com uma covariável (comprimento de olho de lombo); modelo 4: delineamento em blocos ao acaso com duas covariáveis (comprimento e profundidade de olho de lombo); ABATE: observação direta no animal após o abate.

**Tabela 2.** Médias da área do músculo Longissimus dorsi (cm<sup>2</sup>) de coelhos Nova Zelândia abatidos aos 104 dias de idade obtidas por ultrassonografia, ajustadas sem e com covariáveis e observação da área do músculo abatido após experimento em blocos ao acaso

ANIMAL	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	ABATE
1	8,64 a	8,68 a	8,68 b	8,69 b	8,7131
2	8,80 a	8,83 a	8,83 ab	8,85 ab	8,5714
3	8,99 a	8,83 a	8,94 a	8,95 a	9,0758
4	8,72 a	8,94 a	8,72 b	8,68 b	8,7212
5	8,78 a	8,72 a	8,77 b	8,77b	8,8951
Amplitude	0,4660	0,3846	0,4846	0,4546	0,5044

modelo 1: delineamento em blocos ao acaso sem covariável modelo 2: delineamento em blocos ao acaso com uma covariável (profundidade de olho de lombo); modelo 3 delineamento em blocos ao acaso com uma covariável (comprimento de olho de lombo); modelo 4: delineamento em blocos ao acaso com duas covariáveis (comprimento e profundidade de olho de lombo).

A menor amplitude nos valores das médias obtidas por ultrassonografia do experimento também está relacionada ao ajuste dessas médias pelos modelos, que implica em remoção de variação na variável dependente e, conseqüentemente, menores amplitudes. O ideal seria que as médias ajustadas fossem semelhantes às observadas diretamente no animal abatido, como observado por Santos et al. (2019), no entanto, as áreas dos músculos apresentaram valores maiores, isso pode ter ocorrido devido a idade dos animais. Corroborando com Figueiredo Filho et al. (2012), em um estudo em área de lombo com caprinos quanto às medidas de características da carcaça

em função da idade, a área de olho de lombo apresentou-se crescente em função da idade.

Deve ser observado que as médias tomadas nos animais abatidos e as obtidas com o modelo que incluiu apenas a covariável COL e com o modelo com ambas as covariáveis apresentaram correlação de Pearson significativa ( $p < 0,05$ ) e próxima da unidade (0,998 e 0,999, respectivamente), demonstrando que essas variáveis são fortemente associadas (Tabela 3). Isso demonstra que esses modelos são eficientes para ajustar as médias da área de olho de lombo de coelhos Nova Zelândia.

**Tabela 3.** Coeficientes de correlação de Pearson entre as médias da área do músculo *Longissimus dorsi* de coelhos Nova Zelândia abatidos aos 104 dias de idade e ajustadas sem e com covariáveis, obtidas por ultrassonografia e observadas estimadas e ajustadas diretamente no animal abatido após experimento em blocos ao acaso

Delimitação	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Abate
Modelo 1	0,97*	0,70 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>
Modelo 2	-	0,72 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>
Modelo 3	-	-	0,98*	0,98*
Modelo 4	-	-	-	0,99*

\*significativo a 5%; <sup>ns</sup>- não significativo; modelo 1: delineamento em blocos ao acaso sem covariável; modelo 2: delineamento em blocos ao acaso com uma covariável (Profundidade de olho de lombo); modelo 3: delineamento em blocos ao acaso com uma covariável (comprimento de olho de lombo); modelo 4: delineamento em blocos ao acaso com duas covariáveis (comprimento e profundidade de olho de lombo).

No trabalho de Santos et al. (2019) apenas o modelo com a inclusão das duas covariáveis apresentou correlação significativa com as medidas da área do músculo *Longissimus dorsi* observadas após o abate dos coelhos. A correção da medida da área do olho do lombo apenas com a covariável COL tem se apresentado semelhante à correção com as duas covariáveis (COL e POL) nesta pesquisa.

Quando se considera a perda de informação substancial no modelo apenas com a covariável COL (AIC em 126 % e 117% no AICC e 142 % em BIC em relação ao modelo1), recomenda-se o uso da covariável COL, para ajustar as médias da área de olho do lombo em coelhos Nova Zelândia, diferente dos resultados encontrados por Silva et al. (2012) onde o mesmo indica o modelo com as duas covariáveis.

A utilização da covariável COL, modelo 3 permitiu a redução da variância residual, aumentando a precisão do experimento, possibilitando encontrar diferenças significativas entre os operadores do aparelho de ultrassonografia. Além disso, é importante observar que o software Bio7 foi uma ferramenta valiosa para mensuração da área de olho de lombo dos coelhos no animal, após o abate por otimizar a coleta direta desse fenôtipo por meio da avaliação da imagem.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inclusão da covariável comprimento da área de olho de lombo corrigiu a medida da área de olho de lombo em coelhos nova Zelândia complementando o controle de local minimizando o erro do operador com melhoria na precisão do experimento.

## REFERÊNCIAS

Abd-Allah, S.M.S.; Abd-Elaziz, D.M. Nutritional Value and Quality Profile of Fresh Rabbit Meat in Assiut City, Egypt. *International Journal For Research In Agricultural And Food Science*, v. 4, p. 1-15, 2018. Doi: <https://gnpublication.org/index.php/afs/article/view/678>

Burnham, K.P.; Anderson, D.R. Multimodel Inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociol Methods Research*, v. 33, p. 261-304, 2004. Doi: 10.1177/0049124104268644.

Dalle Zotte, A. Rabbit farming for meat purposes. *Animal Frontiers*, v. 4, p. 62-67, 2014. Doi: 10.2527/af.2014-0035

Faria Filho, D.E.; Jaruche, Y.G.; Leal, D.H.V. Classificação de

coeficientes de variação na experimentação com coelhos no Brasil. *Ciência Animal Brasileira*, v. 17, n. 4, p. 519-526, 2016. Doi: 10.1590/1089-6891v17i424460

Figueiredo Filho, L.A.S.; Sarmiento, J.L.R.; Campelo, J.E.G.; Santos, N.P.S.; Sousa Júnior, A. Medidas de características da carcaça por meio de ultrassonografia em caprinos. *Revista brasileira saúde produção animal*, v.13, n.3, p.804-814, 2012. Doi: 10.1590/S1519-99402012000300018.

Gandra, J.R.; Seno, L.O.; Borquis, R.R.A.; et al. Milkyield and composition of primiparous recipientcows influence the performance and carcass ultrasonography of Nellore calf. *Journal of Applied Animal Research*, v. 47, p. 506–513, 2019. Doi: 10.1080/09712119.2019.1675668.

Gasco, L.; Dabbou, S.; Gai, F.; et al. Quality and Consumer Acceptance of Meat from Rabbits Fed Diets in Which Soybean Oil is Replaced with Black Soldier Fly and Yellow Mealworm Fats. *Animals*, v. 9, p. 1-14, 2019. Doi: 10.3390/ani9090629.

Girardi, L.H.; Cargnelutti Filho, A.; Storck, L. Erro tipo I e poder de cinco testes de comparação múltipla de médias. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 27, n. 1, p. 23-36, 2009. Doi: [http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v27/v27\\_n1/A2\\_Alberto.pdf](http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v27/v27_n1/A2_Alberto.pdf).

Hashimoto, J.H.; Alcalde, C.R.; Silva, K.T.; et al. Características de carcaça e da carne de caprinos Boer x Saanen confinados recebendo rações com casca do grão de soja em substituição ao milho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, n.1, p.165-173, 2007. Doi: 10.1590/S1516-35982007000100020.

Kraemer, H. A source of false findings in published research studies: Adjusting for covariates. *JAMA Psychiatry*, v. 72, n. 10, p. 961-962, 2015. Doi: 0.1001/jamapsychiatry.2015.1178.

Metzger, S.; Odermatt, M.; Szendrő, Z.; et al. A study of the carcass traits of different rabbit genotypes. *Word Rabbit Science*, v.14, n. 2, p.107-114, 2006. Doi: 10.4995/wrs.2006.550.

Miller, G. A.; Chapman, J. P. Misunderstanding Analysis of Covariance. *Journal of Abnormal Psychology*, v. 110, n. 1, p. 40-48, 2001. Doi: 10.1037 / 0021-843X.110.1.40.

Pinheiro, R.S.B., Jorge, A.M., Yokoo, M.J. Correlações entre medidas determinadas in vivo por ultrassom e na carcaça de ovelhas de descarte. *Revista Brasileira De Zootecnia*, v. 39, n. 1161-1167, 2010. Doi: 10.1590/S1516-35982010000500030.

Santos, N.P.S.; Guerra, L.O.; Biagiotti, D.; et al. Correção de medida ultrassonográfica de carcaça em coelhos usando modelo linear misto com covariáveis. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária Zootecnia*, v.71, n. 2, p. 473-480, 2019. Doi: 10.1590/1678-4162-10416.

Saxton, A. Genetic analysis of complex traits using SAS®. Cary: SAS Institute, 2004.

Silva, S. J. C. R.; Jorge, A. M.; Mourão, J. L. T. A. M.; et al. Real-time ultrasound to predict rabbit carcass composition and volume of *Longissimus dorsi* muscle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 41, n.12, p. 2463-2466, 2012. Doi: 10.1590/S1516-35982012001200012.

Wang, B.; Ogbunr, E. L.; Rosenblum, M. Analysis of covariance in randomized trials: More precision and valid confidence intervals, without model assumptions. *Biometrics*, v. 75, p. 1–10, 2019. Doi: 10.1111/biom.1306.