

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

MATEUS ALVES GONÇALVES

**ASSOCIAÇÃO ENTRE IMAGENS DIGITAIS COM A MORFOMETRIA E
CONDIÇÃO CORPORAL DE CABRAS LEITEIRAS**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

MATEUS ALVES GONÇALVES

**ASSOCIAÇÃO ENTRE IMAGENS DIGITAIS COM A MORFOMETRIA E
CONDIÇÃO CORPORAL DE CABRAS LEITEIRAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Erica Beatriz Schultz

Coorientador: Marcelo Teixeira Rodrigues

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

G635a
2023
Gonçalves, Mateus Alves, 1998-
Associação entre imagens digitais com a morfometria e
condição corporal de cabras leiteiras / Mateus Alves Gonçalves.
– Viçosa, MG, 2023.

1 dissertação eletrônica (38 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Erica Beatriz Schultz.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Zootecnia, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.542>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Caprinos - Criação - Medição. 2. Aprendizado do
computador. 3. Inteligência artificial. I. Schultz, Erica Beatriz,
1992-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.
III. Título.

CDD 22. ed. 636.39

Bibliotecário(a) responsável: Euzébio Luiz Pinto CRB-6/3317


MATEUS ALVES GONÇALVES

**ASSOCIAÇÃO ENTRE IMAGENS DIGITAIS COM A MORFOMETRIA E
CONDIÇÃO CORPORAL DE CABRAS LEITEIRAS**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 25 de julho de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **MATEUS ALVES GONCALVES**
Data: 11/09/2023 15:09:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Mateus Alves Gonçalves
Autor

Documento assinado digitalmente
 **ERICA BEATRIZ SCHULTZ**
Data: 13/09/2023 09:42:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Erica Beatriz Schultz
Orientadora

A todos aqueles que me incentivaram, inspiraram e fizeram parte dessa caminhada, agradeço de coração!

Dedico!

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo incentivo e apoio ao longo dessa jornada acadêmica, sempre estiveram ao meu lado, torcendo por mim e acreditando em meus sonhos. Mesmo estando distantes fisicamente, seu encorajamento constante, ligações de apoio e palavras de orgulho foram fundamentais para o meu sucesso.

Agradeço à minha orientadora (Profa. Érica), por seu apoio valioso durante o meu mestrado, ao propor um novo experimento que abriu novas perspectivas para minha dissertação. Sua orientação, paciência e prontidão em responder minhas dúvidas foram essenciais para o sucesso da minha pesquisa. Expresso minha profunda gratidão por seu apoio inestimável e impacto significativo em minha jornada acadêmica, tanto como orientadora quanto como amiga. Sua empatia e amizade foram fundamentais para superar desafios emocionais ao longo dessa jornada.

Ao meu coorientador (Prof. Marcelo), por proporcionar a primeira oportunidade de ser seu orientado, marcando o início de minha jornada no mestrado. Além disso, sou imensamente grato por me proporcionar uma experiência única e valiosa de vivenciar e aprender com a rotina do setor de caprinocultura da UFV, bem como por compartilhar suas experiências, vivências e conhecimentos, que contribuíram de forma significativa para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Agradeço também aos membros do núcleo de estudos em caprinocultura (NECAPRI) que de forma voluntária contribuíram para a execução deste experimento e, conseqüentemente, para o progresso desta dissertação. Sem o apoio, colaboração e esforço conjunto de vocês, este trabalho não teria sido possível.

Aos membros da banca examinadora (Profa. Luciana e Profa. Camila) por dedicarem seu tempo e expertise para avaliar este trabalho. Suas contribuições e feedback crítico foram extremamente valiosos para a melhoria do conteúdo e qualidade desta dissertação.

Aos meus amigos mais próximos, que estiveram ao meu lado durante todo esse processo. Seus gestos de encorajamento, palavras de motivação e presença constante foram uma fonte de força e inspiração para mim.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Muito obrigado!

“Mesmo que a vida pareça ruim, há sempre algo que possa fazer e obter sucesso”.

(Stephen Hawking)

RESUMO

GONÇALVES, Mateus Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2023. **Associação entre imagens digitais com a morfometria e condição corporal de cabras leiteiras**. Orientadora: Erica Beatriz Schultz. Coorientador: Marcelo Teixeira Rodrigues.

Esta dissertação foi segmentada em dois capítulos. **Capítulo I** - O objetivo foi verificar se as imagens digitais são capazes de determinar a morfometria e identificar quais medidas apresentam maior precisão em fêmeas caprinas leiteiras. Foram utilizadas 154 fêmeas caprinas nas fases de cria, recria e lactação e oito medidas corporais foram mensuradas com fita métrica e por imagens digitais (câmera Intel ® RealSense™ D435 e ImageJ) para a extração da altura da cernelha, altura da garupa, comprimento corporal, profundidade, altura da pata, largura do peito, largura da garupa e comprimento da garupa. As correlações foram significativas ($p < 0,05$) entre medidas manuais e imagens em todas as categorias. A altura da cernelha, altura da garupa e comprimento corporal apresentaram maiores correlações ($r > 0,60$) e precisão ($R^2 > 0,50$) entre as técnicas de medição. As imagens digitais são capazes de determinar a morfometria de fêmeas caprinas leiteiras, sendo as medidas mais precisas altura da cernelha, altura da garupa e comprimento corporal. **Capítulo II** - O objetivo foi avaliar se é possível a utilização das imagens digitais para prever o peso corporal e classificar o ECC de fêmeas caprinas leiteiras. Foram utilizadas 154 fêmeas caprinas nas fases de cria, recria e lactação e foram pesadas em balança manual e o ECC foi realizado apenas nos animais da recria e lactação ($n=124$) por três avaliadores treinados. As gravações e o processamento das imagens digitais foram realizados para a extração das mesmas medidas aferidas no capítulo I. As medidas das imagens apresentaram correlações altas ($r > 0,70$) e significativas ($p < 0,05$) com o peso corporal, com destaque ($r > 0,90$) para o comprimento corporal, largura do peito e profundidade. O ECC não apresentou correlação significativa ($p > 0,05$) com as variáveis das imagens. Foi possível prever o peso corporal através das medidas pelas imagens com R^2 de 0,87, sendo a profundidade (22,14%), largura do peito (18,93%) e comprimento corporal (15,47%) as variáveis mais importantes. Para o ECC, a acurácia foi de 0,4054 e a classe 2 a 3 foi a mais assertiva com 10 animais classificados e a largura do peito (20,38%) foi a variável mais importante. As imagens digitais demonstram capacidade de prever com precisão o peso corporal, porém, não classificam o ECC de fêmeas caprinas leiteiras.

Palavras-chave: Aprendizado de máquina. Inteligência artificial. Zootecnia de precisão.

ABSTRACT

GONÇALVES, Mateus Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2023. **Association between digital images with morphometry and body condition of dairy goats.** Adviser: Erica Beatriz Schultz. Co-adviser: Marcelo Teixeira Rodrigues.

This dissertation was divided into two chapters. **Chapter I** - The objective was to ascertain if digital images are capable of determining morphometry and identifying which measurements exhibit higher precision in dairy female goats. A total of 154 dairy female goats in the stages of nursing kids, weaned kids, and lactation were utilized, and eight body measurements were assessed using a measuring tape and digital images (Intel® RealSense™ D435 camera and ImageJ) for extracting withers height, rump height, body length, depth, paw height, chest width, rump width and rump length. Significant correlations ($p < 0.05$) were observed between manual measurements and images across all categories. Withers height, rump height, and body length exhibited stronger correlations ($r > 0.60$) and precision ($R^2 > 0.50$) among the measurement techniques. Digital images are capable of determining the morphometry of dairy female goats, with withers height, rump height, and body length being the most precise measurements. **Chapter II** - The objective was to assess the feasibility of using digital images to predict body weight and classify BCS in dairy female goats. A total of 154 dairy female goats in the nursing kids, weaned kids, and lactation stages were used. They were weighed on a manual scale, and BCS was assessed only in animals in the rearing and lactation stages ($n=124$) by three trained evaluators. Recordings and digital image processing were conducted to extract the same measurements as assessed in Chapter I. Measurements from the images exhibited high and significant correlations ($r > 0.70$, $p < 0.05$) with body weight, with particular emphasis on body length, chest width, and depth ($r > 0.90$). BCS did not show a significant correlation ($p > 0.05$) with the image variables. It was possible to predict body weight through measurements from the images with an R^2 of 0.87, with depth (22.14%), chest width (18.93%), and body length (15.47%) being the most important variables. For BCS, the accuracy was 0.4054, and classes 2 to 3 were the most accurate, with 10 animals classified. Chest width (20.38%) was the most important variable. Digital images demonstrate the ability to accurately predict body weight, but they do not classify the BCS of dairy female goats.

Keywords: Machine learning. Artificial intelligence. Precision livestock farming.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	9
Referências.....	10
2. CAPÍTULO I – IMAGENS DIGITAIS APLICADAS À MORFOMETRIA DE CAPRINOS LEITEIROS.....	12
2.1 Introdução.....	13
2.2 Material e Métodos.....	14
2.3 Resultados.....	16
2.4 Discussão.....	21
2.5 Conclusões.....	22
Referências.....	22
3. CAPÍTULO II – IMAGENS DIGITAIS NA PREDIÇÃO DO PESO E ESCORE DE CONDIÇÃO CORPORAL DE CAPRINOS LEITEIROS.....	25
3.1 Introdução.....	26
3.2 Material e Métodos.....	27
3.3 Resultados.....	30
3.4 Discussão.....	33
3.5 Conclusões.....	35
Referências.....	35

1. INTRODUÇÃO GERAL

O uso de tecnologias é emergente para a fenotipagem automatizada em tempo real. Dentre as inovações, a utilização de imagens digitais através de aprendizado de máquina torna-se um meio interessante para estimativa desses parâmetros (Sant’Ana et al., 2021). Isto pois, sendo a imagem uma função bidimensional possível de extrair informações de forma e cor (Gonzalez e Woods, 2008).

Com essas informações, o aprendizado de máquina que é uma ferramenta poderosa no campo da inteligência artificial, permite que sistemas computacionais aprendam a partir de dados, identifiquem padrões e tomem decisões sem serem explicitamente programados para cada tarefa específica. Ele envolve a construção de algoritmos e modelos que aprimoram sua performance de maneira automática à medida que são expostos a mais dados (Hastie; Tibshirani; Friedman, 2009). Logo, essa tecnologia possibilita avaliar um maior número de animais e em menor tempo, otimizando os manejos das fazendas (Sant’Ana et al., 2021).

O uso de imagens já vem sendo utilizado em diversas áreas da produção e apresentam resultados promissores. Alguns estudos já evidenciaram que o escore de condição corporal (ECC) e o peso corporal podem ser obtidos através de imagens. Na pesquisa de Martins et al. (2020) com uso de câmera 3D em novilhas e vacas leiteiras da raça holandesa demonstraram ser possível prever o peso corporal bem como sua variação no decorrer do tempo. Da mesma forma, no estudo de Zhang et al. (2018a), que utilizaram 27 ovinos de cauda curta da raça Han em diferentes idades, constataram uma alta correlação entre o tamanho corporal obtido pelas imagens e o peso corporal, sendo a medida comprimento corporal a de maior relevância.

Em um estudo pioneiro utilizando cabras leiteiras com objetivo de reduzir a subjetividade das avaliações de desempenho, evidenciou ser possível obter o ECC pelo um sistema de pontuação visual através das imagens e que pode ser executado por avaliadores sem experiência em comparação ao método tradicional (Vieira et al., 2015).

Na criação de caprinos leiteiros os dados de morfometria são importantes na seleção dos animais (Dea; Melesse; Mekasha, 2019). A obtenção dessas informações de forma precisa permite otimização na tomada de decisões para os manejos: nutricional, sanitário e reprodutivo. Entretanto, os métodos tradicionais como o ECC e o peso corporal para avaliar as mudanças corporais apresentam alguns entraves.

A avaliação do ECC é importante pois este está diretamente relacionado com a deposição de gordura corporal, sendo possível prever, por exemplo, falhas de manejo e

distúrbios nutricionais. Para caprinos, a mensuração do ECC é realizada de forma visual ou por palpação, atribuindo escala de cinco pontos para avaliar as mudanças das reservas corporais (Koyuncu e Altınçekiç, 2013). No entanto, esse método é subjetivo, ou seja, há necessidade de avaliadores treinados para esse manejo (Tao; Li; Sun, 2022).

Em conjunto com as avaliações de morfometria e do ECC, o monitoramento do ganho de peso corporal é essencial, pois trata-se de uma medida de desempenho dos animais. No entanto, essa prática realizada de forma tradicional é laboriosa, pois comumente as pesagens são realizadas em balança manual, e com necessidade de contenção do animal (Sant'Ana et al., 2021). Além disso, é necessário a contenção para realizar as avaliações o que demanda mão de obra e pode ser estressante para os animais (Zhang et al., 2018b).

Visto isso, trabalhos avaliando a aplicação das novas tecnologias para caprinos leiteiros ainda são incipientes, necessitando de maior volume de dados, testes e validações. Sendo assim, no primeiro capítulo o objetivo foi verificar se as imagens digitais são capazes de determinar a morfometria e identificar quais medidas apresentam maior precisão em fêmeas caprinas leiteiras. No segundo capítulo, por sua vez, o objetivo foi avaliar se é possível a utilização das imagens digitais para predizer o peso corporal e classificar o ECC de fêmeas caprinas leiteiras.

Referências

DEA, D.; MELESSE, A.; MEKASHA, Y. Application of morphometric traits and body indices in assessing the type and function of local goats reared in two districts of Gamo-Gofa zone. **Ethiopian Journal of Animal Production**, v. 19, n. 1, p. 73-90, 2019.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing**. 3. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. H. **The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction**. 2. ed. New York: Springer, 2009.

KOYUNCU, M.; ALTINÇEKIÇ, S. Ö. Importance of body condition score in dairy goats. **Macedonian Journal of Animal Science**, v. 3, n. 2, p. 167-173, 2013.

MARTINS, B. M. et al. Estimating body weight, body condition score, and type traits in dairy cows using three dimensional cameras and manual body measurements. **Livestock Science**, v. 236, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104054>.

SANT'ANA, D. A. et al. Weighing live sheep using computer vision techniques and regression machine learning. **Machine Learning with Applications**, v. 5, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100076>.

TAO, Y.; LI, F.; SUN, Y. Development and implementation of a training dataset to ensure clear boundary value of body condition score classification of dairy cows in automatic system. **Livestock Science**, v. 259, p. 104901, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104901>.

VIEIRA, A. et al. Development and validation of a visual body condition scoring system for dairy goats with picture-based training. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 1, p. 6597-6608, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9428>.

ZHANG, A. L. et al. Algorithm of sheep body dimension measurement and its applications based on image analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 153, p. 33-45, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.033>.

ZHANG, A. L. et al. Development and validation of a visual image analysis for monitoring the body size of sheep. **Journal of Applied Animal Research**, v. 46, n. 1, p. 1004-1015, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1450257>.

2. CAPÍTULO I – IMAGENS DIGITAIS APLICADAS À MORFOMETRIA DE CAPRINOS LEITEIROS

Resumo

As informações de morfometria são primordiais para selecionar os animais com as melhores características zootécnicas. Porém, as formas de obtenção comumente por fita métrica ou bastão, necessitam de contenção, sendo estressante para os animais. Assim, o uso de imagens digitais torna-se uma alternativa para obtenção dessa morfometria. Nesse contexto, o objetivo foi averiguar se as imagens digitais são capazes de determinar a morfometria e identificar quais medidas apresentam maior precisão em fêmeas caprinas leiteiras. Foram utilizadas 154 fêmeas caprinas das raças Saanen (n= 77) e Alpina (n= 77) das seguintes categorias: cria (n= 30, idade 1-3 meses), recria (n= 24, idade 4-14 meses) e lactante/não gestante (primíparas e múltíparas) (n= 100, idade >15 meses). As gravações foram realizadas com câmera Intel® RealSense™ (D435) para a extração das imagens 2D e processadas no *software* ImageJ para a obtenção das medidas lineares. Para as medições manuais, foram realizadas oito medidas corporais por animal, uma única vez com uso de fita métrica para obtenção dos seguintes parâmetros: altura da cernelha, altura da garupa, comprimento corporal, profundidade, altura da pata, largura do peito, largura da garupa e comprimento da garupa. A correlação de Pearson foi aplicada a 5% de significância para todas as variáveis. As verificações das medidas manuais e pela imagem foram realizadas por meio da análise de regressão testando os coeficientes *intercepto* e *slope*. A precisão e acurácia foram obtidas por interpretação do coeficiente de determinação (R^2), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e erro médio absoluto (MAE). Em todas as categorias as correlações foram significativas ($p < 0,05$) entre medidas manuais e imagens. As variáveis de altura da cernelha, altura da garupa e comprimento corporal foram as que apresentaram maiores correlações ($r > 0,60$) e precisão ($R^2 > 0,50$). Os erros (MAE) foram de 2,18 cm, 2,01 cm e 4,41 cm para a fase de cria, e 11,59 cm, 13,23 cm e 15,02 cm para as fases de recria e lactação, respectivamente, entre as técnicas de medição. Conclui-se que as imagens digitais são capazes de determinar a morfometria de fêmeas caprinas leiteiras, sendo as medidas mais precisas altura da cernelha, altura da garupa e comprimento corporal.

Palavras-chave: Biometria. Visão computacional. Zootecnia de precisão.

2.1 Introdução

As medidas corporais são importantes para determinar as características de conformação, tamanho, tipo, função e acompanhamento do crescimento dos animais de produção (Salako, 2006; Khargharia et al., 2015; Putra e Ilham, 2019). Portanto, são aplicáveis em programas de melhoramento genético para seleção e acasalamento (Seifemichael et al., 2014; Ramos et al., 2019).

Embora a relevância, a obtenção da morfometria de forma tradicional é o principal entrave pois, as mensurações são comumente realizadas por fita métrica ou bastão, e requerem contenção, sendo estressante para os animais. Além disso, são laboriosas em razão da necessidade de mão de obra e treinamento, uma vez que é necessário transferir os animais para um local plano e posicioná-los para não enviesar as avaliações (Zhang et al., 2018a; Miller et al., 2019).

Como alternativa, o uso de imagens digitais torna-se uma ferramenta para obtenção da morfometria. Isto pois, em uma imagem é possível avaliar um maior conjunto de informações e animais em menor tempo, além de retirar a imparcialidade das avaliações, facilitando na tomada de decisões nas fazendas (Sant'Ana et al., 2021).

Nesse contexto, há na literatura achados utilizando as mensurações corporais por imagens digitais para avaliar a morfometria dos animais de interesse zootécnico. Li e Teng (2022) apontaram que é possível obter a morfometria de bovinos e caprinos através de imagens digitais recorrendo à ferramenta de inteligência artificial como o aprendizado profundo. Do mesmo modo, Tasdemir, Urkmez e Inal (2011) demonstraram obter as medidas corporais de bovinos da raça Holandesa pelas imagens utilizando a inteligência artificial. Além disso, Bezsonov et al. (2021) postularam ser possível obter as mensurações de morfometria por imagens digitais de bovinos em confinamento ou nas pastagens.

As tecnologias na produção animal são emergentes, porém, o desenvolvimento de ferramentas ainda é limitado para caprinos leiteiros, sendo necessário pesquisas para validação e aplicação do uso de imagens para a mensuração da morfometria em diferentes categorias. Isto pois as fases de crescimento e fisiológica se comportam de maneiras diferentes ao longo do desenvolvimento dos animais. Dessa forma, o objetivo foi verificar se as imagens digitais são capazes de determinar a morfometria e identificar quais medidas apresentam maior precisão em fêmeas caprinas leiteiras.

2.2 Material e Métodos

O estudo foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em caprinocultura da Universidade Federal de Viçosa - UFV, localizada no município de Viçosa, MG, Brasil. O projeto foi submetido à Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção (CEUAP) desta instituição sob o protocolo 60/23. Foram utilizadas 154 fêmeas caprinas das raças Saanen (n= 77) e Alpina (n= 77) das seguintes categorias: cria (n= 30, idade 1-3 meses) (Tabela 1), recria (n= 24, idade 4-14 meses) e lactante/não gestante (primíparas e múltíparas) (n= 100, idade >15 meses) (Tabela 2).

Tabela 1. Banco de dados obtidos de caprinos leiteiros em fase de cria

Variável	Média cm	Mín. cm	Máx. cm	SD cm
AC	45,07	38	51	3,17
AG	46,83	39	53	3,02
LG	8,67	7	10	0,71
CG	13,43	10	16	1,22
CC	40,90	32	49	4,18
P	25,43	21	30	2,40
LP	11,63	9	14	1,19
AP	26,87	18	33	2,73
ACIMG	46,58	37,23	53,61	3,54
AGIMG	47,66	38,20	55,08	3,92
LGIMG	11,03	7,77	13,06	1,16
CGIMG	14,35	7,84	17,42	2,30
CCIMG	45,14	35,3	51,19	3,72
PIMG	22,15	17,24	25,24	1,84
LPIMG	14,82	12,63	18,77	1,43
APIMG	24,88	18,46	29,85	2,75

SD= desvio padrão. AC= altura da cernelha; AG= altura da garupa; LG= largura da garupa; CG= comprimento da garupa; CC= comprimento corporal; P= profundidade; LP= largura do peito; e AP= altura da pata. Variáveis seguidas por IMG representam as medidas por imagens.

Tabela 2. Banco de dados obtidos de caprinos leiteiros em fases de recria e lactação

Variável	Média cm	Mín. cm	Máx. cm	SD cm
AC	74,92	54	91	7,37
AG	75,37	54	90	6,65
LG	17,35	11	22	2,20
CG	23,33	15	31	2,98
CC	70,54	45	86	8,81
P	41,68	27	55	6,49
LP	21,14	14	28	2,94
AP	40,40	29	50	3,76
ACIMG	86,49	67,08	101,48	6,90

AGIMG	88,60	69,90	102,19	6,95
LGIMG	23,91	16,83	30,93	2,91
CGIMG	28,61	18,65	40,03	4,12
CCIMG	85,57	55,74	109,39	9,49
PIMG	41,43	27,68	55,05	4,78
LPIMG	25,61	17,44	34,77	3,17
APIMG	46,85	38,67	54,99	3,54

SD= desvio padrão. AC= altura da cernelha; AG= altura da garupa; LG= largura da garupa; CG= comprimento da garupa; CC= comprimento corporal; P= profundidade; LP= largura do peito; e AP= altura da pata. Variáveis seguidas por IMG representam as medidas por imagens.

Os animais foram criados em regime intensivo em baias coletivas do tipo *free-stall* com acesso ao solário (exceto, os animais da cria, os quais eram mantidos em gaiolas suspensas) além de serem equipadas com comedouro, bebedouro (água *ad libitum*), saleiro e piso com cobertura de cepilho de madeira.

Durante um período de dois meses, foram realizadas oito medidas corporais por animal, uma única vez com uso de fita métrica para obtenção dos parâmetros: altura da cernelha (AC) medida do ponto mais elevado da escápula até o solo, altura da garupa (AG) do ponto mais alto da garupa até o solo, comprimento corporal (CC) entre o ponto do ombro anterior até o ponto de inserção da cauda, profundidade (P) da linha dorsal até o ponto mais profundo do tórax, altura da pata (AP) do ponto mais alto da pata dianteira até o solo, largura do peito (LP) do ponto mais largo do peito e seu correspondente no lado oposto, largura da garupa (LG) entre os pontos onde a garupa é mais larga e comprimento da garupa (CG) do ponto frontal até o ponto mais posterior da garupa (adaptado de American Dairy Goat Association, 2022) (Figura 1).

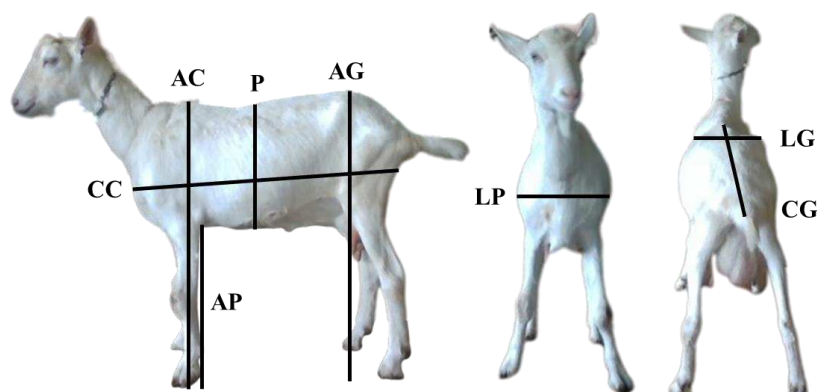


Figura 1. Esquematização da morfometria de caprinos leiteiros obtida por fita métrica. AC: altura da cernelha; AG: altura da garupa; CC: comprimento corporal; P: profundidade; AP: altura da pata; LP: largura do peito; LG: largura da garupa; e CG: comprimento da garupa.

Simultaneamente, foram realizadas as coletas de imagens bidimensionais (2D) em condições de luminosidade natural, onde utilizou-se um tripé profissional como auxílio da câmera Intel ® RealSense™ (D435) para condução das gravações individuais das seguintes regiões: lateral esquerda, frente (esterno) e superior (garupa). A câmera foi disposta em duas alturas em relação ao solo, para todas as regiões a altura foi de 67 cm, com exceção da região superior que foi de 1,35 m. A distância da câmera até o animal foi de 1,80 m.

Foram obtidos vídeos de até 1 min por animal uma única vez e em seguida no *software Intel Viewer* foram extraídos três *frames*, um para cada região do animal a partir das gravações. As imagens apresentaram resolução de 640 x 480 *pixels* e foram salvas em formato PNG. Posteriormente, estas foram processadas no *software* ImageJ sendo utilizados pontos de medição para obtenção dos valores em *pixels* de área, comprimento e perímetro (Abràmoff; Magalhães; Ram, 2004) da morfometria. No ImageJ, a ferramenta *Straight* foi utilizada para mensurar as medidas corporais na imagem. Para conversão em valores reais (cm), foram utilizados pontos de referência do ambiente nas gravações.

Em relação as análises estatísticas, foi realizada a análise de correlação de Pearson a 5% de significância para todas as variáveis. Os dados foram categorizados em correlações baixa (0,00 - 0,29), moderada (0,30 - 0,59), alta (0,60 - 0,89), muito alta (0,90 - 0,99) e perfeita (1,00) (Callegari-Jacques, 2003) entre as medidas manuais e pelas imagens digitais. Posteriormente, foi ajustada uma regressão linear testando os coeficientes *intercepto* e *slope*. A precisão e acurácia foram obtidas por interpretação do coeficiente de determinação (R^2), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e erro médio absoluto (MAE).

2.3 Resultados

Nas análises preliminares, optou-se por agrupar os animais da fase de cria (Tabela 1) separadamente da fase de recria e lactação (Tabela 2), devido à heterogeneidade observada dos dados entre os distintos grupos. Essa decisão foi tomada com o propósito de compreender as particularidades e padrões específicos das fases de desenvolvimento. Ao realizar as análises de forma segregada, tornou-se possível identificar diferenças nas medidas entre os animais da fase de cria em comparação com as fases de recria e lactação.

Houve correlação significativa ($p < 0,05$) entre a morfometria de imagem e manual na fase da cria (Figura 2) assim como, na recria e lactação (Figura 3).

manual e pela imagem, devido à baixa precisão e à não significância do coeficiente angular (*slope*).

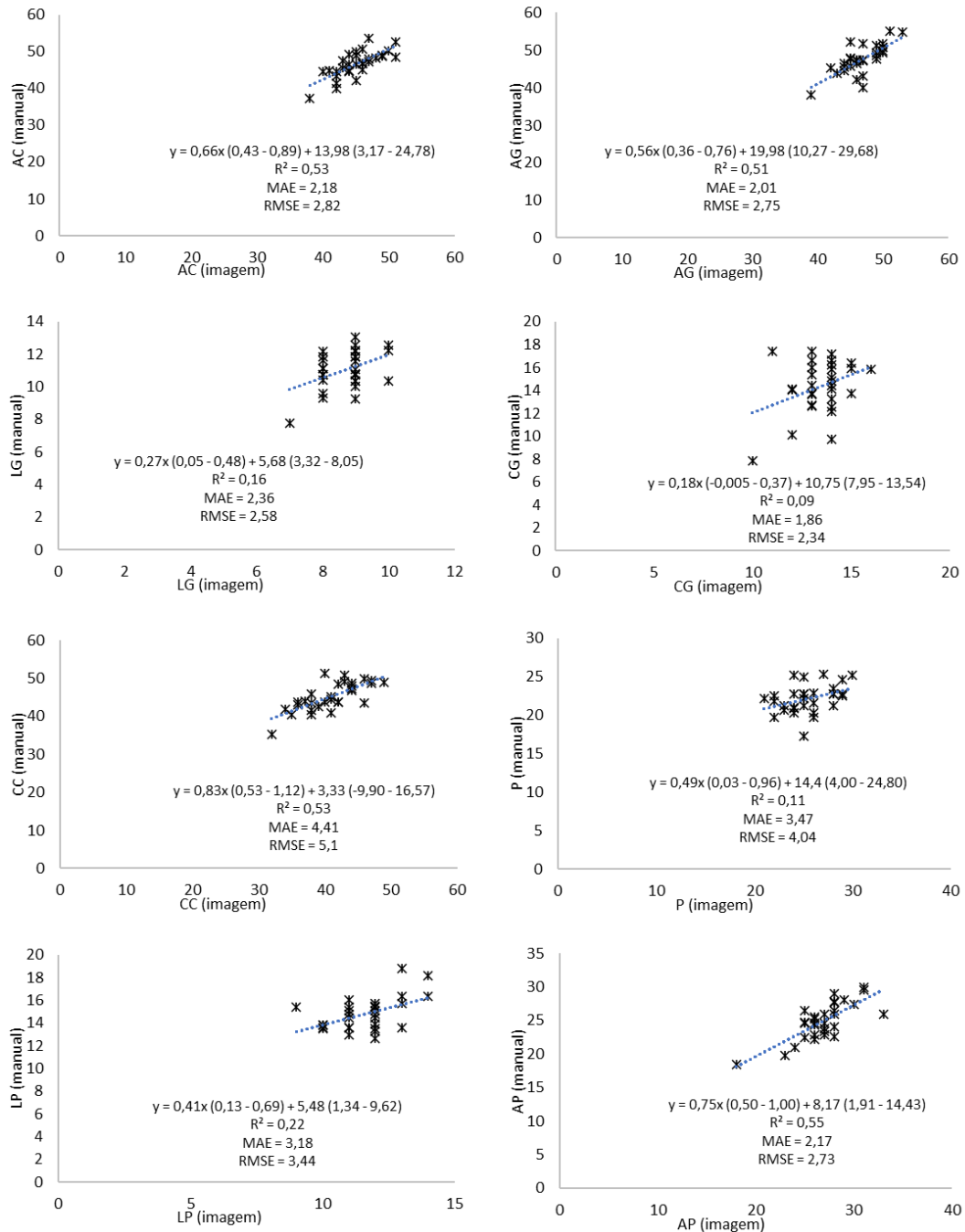


Figura 4. Regressão linear da morfometria entre manual e de imagem em caprinos leiteiros na fase de cria. R^2 = coeficiente de determinação, RMSE= raiz do erro quadrático médio e MAE= erro médio absoluto.

Na recria e lactação (Figura 5), as variáveis de maior precisão foram o comprimento corporal ($R^2 = 0,67$; RMSE= 15,98), altura da garupa ($R^2 = 0,66$; RMSE= 13,85), profundidade

($R^2 = 0,61$; RMSE= 4,02), altura da cernelha ($R^2 = 0,58$; RMSE= 12,55) e largura do peito ($R^2 = 0,53$; RMSE= 4,99) com MAE de 15,02 cm, 13,23 cm, 3,08 cm, 11,59 cm e 4,52 cm, respectivamente. Enquanto isso, as medidas de menor precisão foram altura da pata ($R^2 = 0,31$; RMSE= 7,28), largura da garupa ($R^2 = 0,19$; RMSE= 7,10) e comprimento da garupa ($R^2 = 0,12$; RMSE= 6,68) com MAE de 6,61 cm, 6,57 cm e 5,76 cm, respectivamente.

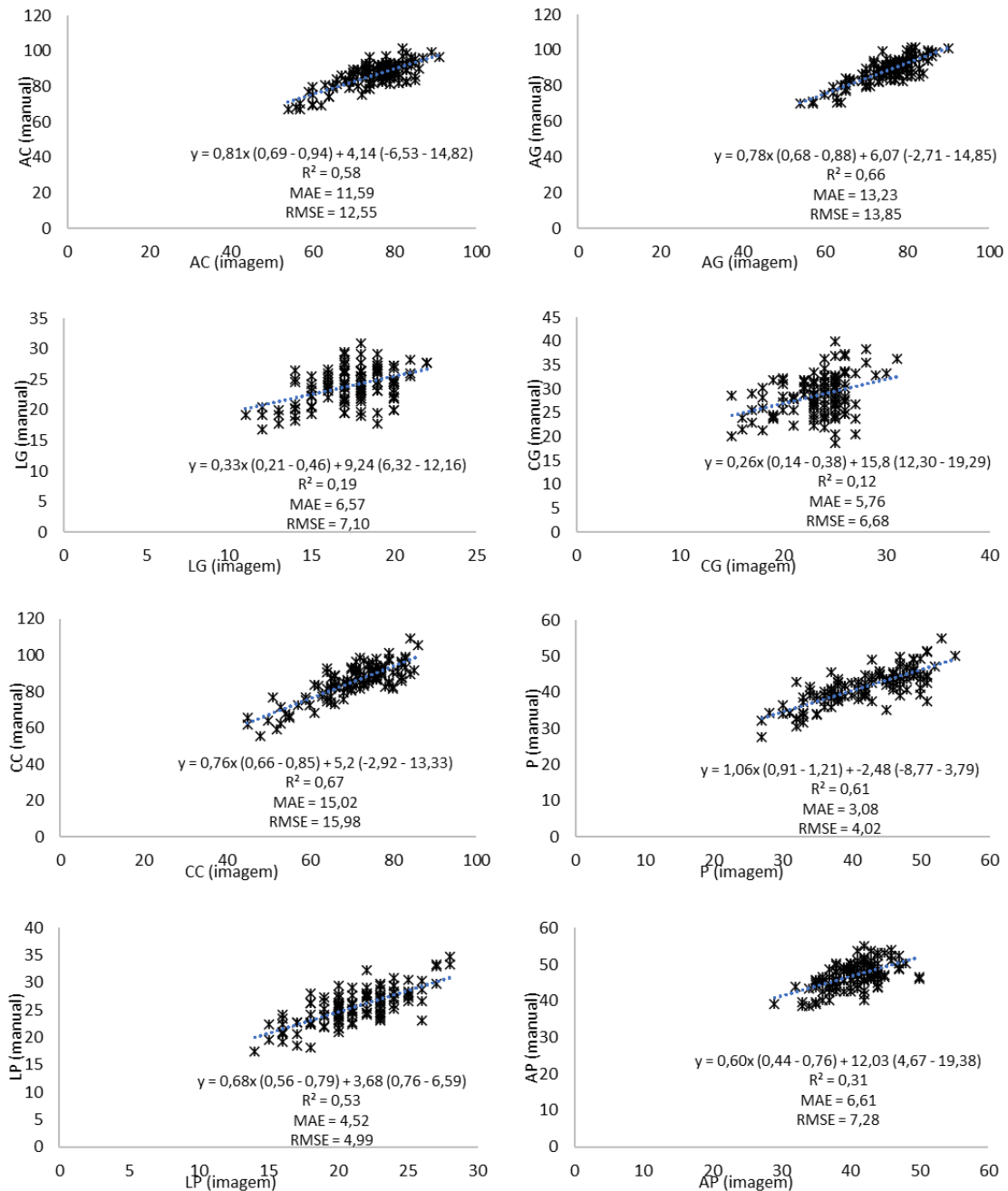


Figura 5. Regressão linear da morfometria entre manual e de imagem em caprinos leiteiros nas fases de recria e lactação. R^2 = coeficiente de determinação, RMSE= raiz do erro quadrático médio e MAE= erro médio absoluto.

2.4 Discussão

As variáveis de altura da cernelha, altura da garupa e comprimento corporal apresentaram maiores correlações ($r > 0,60$) tanto entre as mensurações manuais quanto pelas imagens em todas as categorias. Para essa maior associação, presume-se que são as medidas mais relacionadas com a massa corporal, conforme relatado na literatura que essas variáveis estão intimamente associadas com a predição da massa corporal de pequenos ruminantes (Berhe, 2017; Çakmakçi, 2022). Uma vez que, a massa corporal é uma razão das proporções corporais, tais resultados demonstram a capacidade da imagem para mensurar as variáveis de morfometria como a altura da cernelha, altura da garupa e comprimento corporal de caprinos leiteiros.

Dentre todas as categorias analisadas, o comprimento corporal foi o que apresentou maior MAE, possivelmente em razão do ponto do ombro, conforme relatado por Li e Teng (2022) que também encontraram maior MAE para essa variável e justificam que a borda anterior desse ponto é intimamente afetada pela posição do animal. Nesse estudo, isso era esperado, uma vez que os caprinos são mais ativos, o que torna a contenção mais trabalhosa, dificultando a obtenção de medições de forma correta. De acordo com Heinrichs, Rogers e Cooper (1992), outra razão para o erro, é a questão do uso correto dos pontos anatômicos para mensurar o comprimento corporal que na maioria das vezes não são bem definidos o que dificulta a comparação entre estudos.

Na pesquisa de Tasdemir, Urkmez e Inal (2011), explicam que há grandes chances de erros nas medidas manuais, justamente por conta dessa movimentação dos animais e sugerem o uso de imagens digitais através da inteligência artificial para estimar as medidas corporais com maior precisão. Além disso, a altura da cernelha e altura garupa também apresentaram erros elevados (MAE e RMSE) nos animais da recria e lactação, possivelmente por conta dessa movimentação o que dificulta na obtenção dos *frames* das gravações (Sant'Ana et al., 2021).

No geral, na fase de cria o R^2 foi menor para maioria das variáveis comparado com a recria e lactação. Essa disparidade pode ser atribuída ao tamanho dos animais, ou seja, quanto menor o porte do animal, mais complexo se torna de encontrar os pontos de interesse para realizar as medições com precisão (Li e Teng, 2022). Apesar disso, poucas variáveis da recria e lactação apresentaram coeficiente R^2 mais elevados, tais como a altura da garupa, comprimento corporal e a profundidade. Zhang et al. (2018b) recomendam utilizar imagens

de ambas as laterais para aumentar a precisão dos resultados, uma vez que, nesse estudo foi utilizado apenas a lateral esquerda.

A largura da garupa e comprimento da garupa em todas as categorias apresentaram menor coeficiente de determinação, isso pode ser explicado pela dificuldade de visualizar as estruturas ósseas da garupa em razão do porte pequeno dos caprinos. Por exemplo, no estudo de Marinello et al. (2015), em vacas adultas as mensurações da garupa são mais facilmente obtidas em virtude de os ossos nessa área serem mais notáveis comparado aos animais jovens. Assim, se essas estruturas ósseas não estiverem bem visíveis, dificulta a localização dos pontos anatômicos, o que aumenta as chances dos erros, especialmente nas mensurações manuais (Pezzuolo et al., 2018).

Vale destacar que a altura da garupa apresentou coeficientes de correlação (r) e de determinação (R^2) maiores para as fases de recria e lactação, possivelmente devido ao maior tamanho dos animais, o que facilitou na identificação dos pontos de interesse para realizar as mensurações corretamente. Isso era esperado, pois Pereira et al. (2010) mencionam que após o desmame, a altura da garupa aumenta, já que essa medida possui uma maior relação com a taxa de crescimento.

Por fim, para aumentar a precisão e acurácia da técnica, é recomendado utilizar diferentes posições ou ângulos durante o imageamento, além de aumentar o número de animais no banco de dados.

2.5 Conclusões

As imagens digitais são capazes de determinar a morfometria de fêmeas caprinas leiteiras, sendo as medidas mais precisas altura da cernelha, altura da garupa e comprimento corporal.

Referências

ABRÀMOFF, M. D.; MAGALHÃES, P. J.; RAM, S. J. Image processing with ImageJ. **Biophotonics International**, v. 11, n. 7, p. 36-42, 2004.

AMERICAN DAIRY GOAT ASSOCIATION - ADGA. **Guidebook**. Spindale, NC. 2022.

BERHE, W. G. Relationship and prediction of body weight from morphometric traits in Maefur goat population in Tigray, Northern Ethiopia. **Journal of Biometrics & Biostatistics**, v. 8, n. 5, p. 1-6, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/2155-6180.1000370>.

BEZSONOV, O. et al. Breed recognition and estimation of live weight of cattle based on methods of machine learning and computer vision. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, v. 6/9, n. 114, p. 64-74, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247648>.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003.

ÇAKMAKÇI, C. Live weight prediction in Norduz Sheep using machine learning algorithms. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v. 10, n. 4, p. 587-594, 2022. DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i4.587-594.4670>.

HEINRICH, A. J.; ROGERS, G. W.; COOPER, J. B. Predicting body weight and wither height in Holstein heifers using body measurements. **Journal of Dairy Science**, v. 75, n. 12, p. 3576-3581, 1992. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78134-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78134-X).

KHARGHARIA, G. et al. Principal component analysis of morphological traits of Assam Hill goat in Eastern Himalayan India. **Journal of Animal and Plant Sciences**, v. 25, n. 5, p. 1251-1258, 2015.

LI, K.; TENG, G. Study on body size measurement method of goat and cattle under different background based on deep learning. **Electronics**, v. 11, n. 7, p. 993, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics11070993>.

MARINELLO, F. et al. Application of Kinect-Sensor for three-dimensional body measurements of cows. **Proceedings of the 7th European Precision Livestock Farming, ECPLF**, 2015.

MILLER, G. A. et al. Using 3D imaging and machine learning to predict liveweight and carcass characteristics of live finishing beef cattle. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 3, n. 30, p. 30, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00030>.

PEREIRA, M. C. et al. Altura da garupa e sua associação com características reprodutivas e de crescimento na raça Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 6, p. 613-620, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000600011>.

PEZZUOLO, A. et al. A feasibility study on the use of a structured light depth-camera for three-dimensional body measurements of dairy cows in free-stall barns. **Sensors**, v. 18, n. 2, p. 673, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18020673>.

PUTRA, W. P. B.; ILHAM, F. Principal component analysis of body measurements and body indices and their correlation with body weight in Katjang does of Indonesia. **Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research**, v. 8, n. 3, p. 124-134, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.15406/jdvar.2019.08.00254>.

RAMOS, I. O. et al. Body conformation of Santa Inês, Texel and Suffolk ewes raised in the Brazilian Pantanal. **Small Ruminant Research**, v. 172, n. 4, p. 42-47, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.01.011>.

SALAKO, A. E. Application of morphological indices in the assessment of type and function in sheep. **International Journal of Morphology**, v. 24, n.1, p. 13-18, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022006000100003>.

SANT'ANA, D. A. et al. Weighing live sheep using computer vision techniques and regression machine learning. **Machine Learning with Applications**, v. 5, p. 100076, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100076>.

SEIFEMICHAEL, M. et al. Variability in linear body measurements and their application in predicting body weight of Afar goats in Ethiopia. **International Journal of Interdisciplinary and Multidisciplinary Studies**, v. 1, n. 4, p. 17-25, 2014.

TASDEMIR, S.; URKMEZ, A.; INAL, S. Determination of body measurements on the Holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 76, n. 2, p. 189-197, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.02.001>.

ZHANG, A. L. et al. Development and validation of a visual image analysis for monitoring the body size of sheep. **Journal of Applied Animal Research**, v. 46, n. 1, p. 1004-1015, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1450257>.

ZHANG, A. L. et al. Algorithm of sheep body dimension measurement and its applications based on image analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 153, p. 33-45, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.033>.

3. CAPÍTULO II – IMAGENS DIGITAIS NA PREDIÇÃO DO PESO E ESCORE DE CONDIÇÃO CORPORAL DE CAPRINOS LEITEIROS

Resumo

Os métodos tradicionais para a obtenção do peso e escore de condição corporal (ECC) enfrentam desafios de contenção e subjetividade. O uso de imagens associado ao aprendizado de máquina propõe uma nova abordagem para estimativa desses parâmetros. Nesse contexto, o objetivo foi avaliar se é possível a utilização das imagens digitais para prever o peso corporal e classificar o ECC de fêmeas caprinas leiteiras. Foram utilizadas 154 fêmeas caprinas das raças Saanen e Alpina das fases de cria, recria e lactação/não gestante. As gravações foram realizadas com a câmera Intel® RealSense™ (D435) e os *frames* foram processados no ImageJ para extrair medidas como altura da cernelha, altura da garupa, comprimento corporal, profundidade, altura da pata, largura do peito, largura da garupa e comprimento da garupa. O peso foi registrado uma única vez através de balança manual. A avaliação do ECC foi limitada aos animais em fases de recria e lactação (n=124), sendo avaliado uma única vez por três avaliadores treinados utilizando escala de cinco pontos. A correlação de Pearson a 5% de significância foi aplicada para todas as variáveis, exceto, o ECC, que foi a correlação de Spearman. O banco de dados foi dividido em treinamento (70%) e teste (30%), utilizando o *Random Forest* para a predição do peso corporal e ECC. O modelo foi ajustado pela validação cruzada (5 k-folds) e a precisão e acurácia foram verificadas para o peso corporal pelo coeficiente de determinação (R^2), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e erro médio absoluto (MAE). Para o ECC, a avaliação envolveu a matriz de confusão dos dados de teste. As medidas das imagens apresentaram correlações altas ($r > 0,70$) e significativas ($p < 0,05$) com o peso corporal, com destaque ($r > 0,90$) para o comprimento corporal, largura do peito e profundidade. O ECC não apresentou correlação significativa ($p > 0,05$) com as variáveis das imagens. Foi possível prever o peso corporal através das medidas pelas imagens com R^2 de 0,87, RMSE de 7,13 e MAE de 5,16 kg, sendo a profundidade (22,14%), largura do peito (18,93%) e comprimento corporal (15,47%) as variáveis mais importantes. Para o ECC, a acurácia foi de 0,4054 e a classe 2 a 3 foi a mais assertiva com 10 animais classificados, sendo a largura do peito (20,38%) a variável mais importante. Conclui-se que as imagens digitais demonstram capacidade de prever com precisão o peso corporal, porém, não classificam o ECC de fêmeas caprinas leiteiras.

Palavras-chave: Aprendizado de máquina. Automatização. Desempenho.

3.1 Introdução

O monitoramento da condição corporal é essencial para acompanhar o estado nutricional e sanitário de caprinos leiteiros, o que impacta na eficiência produtiva e econômica do sistema de produção (Koyuncu e Altınçekiç, 2013; Widiyono; Sarmin; Yanuartono, 2020). As principais variáveis no monitoramento são o peso e o escore de condição corporal (ECC) (Mendizabal et al., 2011).

Na obtenção do peso corporal, os métodos tradicionais são o uso de balanças manuais fixas na propriedade (Tasdemir; Urkmez; Inal, 2011) ou predita indiretamente por fita métrica ou bastão (Zhang et al., 2018; Wang et al., 2021). Dentre os entraves destes métodos estão, o custo inicial alto para a aquisição e implantação das balanças o que torna inviável para os pequenos produtores (Mahieu; Navès; Arquet, 2011). Além disso, o manejo é laborioso em grande número de animais (Sant'Ana et al., 2021) necessitando de contenção temporária, sendo estressante e conseqüentemente pode causar ferimentos aos animais (Zhang et al., 2018). Já em relação a obtenção indireta do peso corporal, o método é impreciso em virtude dos animais se movimentarem durante as mensurações, havendo a necessidade de avaliadores treinados (Putra et al., 2016; Miller et al., 2019).

O ECC, considerado um método simples e repetível, é utilizado para avaliar as mudanças das reservas de energia dos animais (Ferguson; Azzaro; Licitra, 2006). Em caprinos leiteiros, esse método se baseia em uma avaliação visual ou por palpação (Ghosh et al., 2019) atribuindo uma escala numérica de 5 pontos, sendo 1 para animal muito magro e 5 muito gordo (Caroprese et al., 2009). Entretanto, a desvantagem de determinar o ECC é a subjetividade das avaliações, ou seja, diferentes indivíduos podem atribuir notas distintas para a condição de um mesmo animal (Tao; Li; Sun, 2022). Assim, é obrigatório apenas avaliadores treinados para realização desse manejo (Halachmi et al., 2013). Além disso, na avaliação por palpação, requer contenção sendo estressante para os animais (Vieira et al., 2015). Ou seja, é uma prática laboriosa e necessita de mão de obra qualificada (Halachmi et al., 2008).

Devido às limitações dos métodos tradicionais de avaliação da condição corporal, tornam-se necessário a busca por alternativas para tornar o processo acessível, não invasivo, preciso e acurado (Ruchay et al., 2022). Assim, o uso de imagens associado ao aprendizado de máquina propõe uma nova abordagem para estimativa do peso e do ECC. Nas diversas áreas da produção animal essa tecnologia já vem sendo aplicada e alguns achados já evidenciaram ser possível prever esses parâmetros.

Weber et al. (2020) utilizaram as medidas corporais obtidas pelas imagens para prever o peso corporal de bovinos girolando com coeficiente de correlação de 0,71. Kuzuhara et al. (2015) observaram que é possível prever o peso corporal a partir de imagens 3D durante a lactação de vacas Holandesas. Martins et al. (2020) com uso de câmera 3D em novilhas e vacas leiteiras da raça Holandesa demonstraram ser possível prever o peso corporal bem como sua variação no decorrer do tempo.

Do mesmo modo, Zhang et al. (2018) utilizando 27 ovinos de cauda curta da raça Han em diferentes idades, constataram uma alta correlação entre o tamanho corporal obtido pelas imagens e o peso corporal, sendo a medida comprimento corporal a de maior relevância. Já na pesquisa de Iqbal et al. (2022), avaliando diferentes métodos de aprendizado de máquina para a predição do peso corporal com uso de medições corporais de cabras Beetal do Paquistão, os algoritmos *Random forests* e *Gradient boosting machine* apresentaram maior precisão em relação aos demais métodos avaliados, principalmente quando existe uma relação não-linear entre o observado e o predito.

Azzaro et al. (2011) encontraram resultados relevantes para estimativa do ECC utilizando a forma corporal de vacas Holandesas obtida por atributos de imagens digitais. Em um estudo pioneiro de Vieira et al. (2015) utilizando cabras leiteiras com objetivo de reduzir a subjetividade das avaliações de desempenho, evidenciaram ser possível obter o ECC pelo um sistema de pontuação visual através das imagens digitais e que pode ser executado por avaliadores sem experiência em comparação ao método tradicional.

Todavia, pesquisas avaliando a adoção dessas novas tecnologias para caprinos ainda são escassas, entendendo a importância de desenvolver métodos semiautomático ou automático com uso de imagens para predição desses parâmetros, há necessidade de um maior volume de dados, teste e validações. Logo, o objetivo foi avaliar se é possível a utilização das imagens digitais para prever o peso corporal e classificar o ECC de fêmeas caprinas leiteiras.

3.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em caprinocultura da Universidade Federal de Viçosa - UFV, localizada no município de Viçosa, MG, Brasil. O projeto foi submetido à Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção (CEUAP) desta instituição sob o protocolo 60/23. Foram utilizadas 154 fêmeas caprinas das raças Saanen (n= 77) e Alpina (n= 77) das seguintes categorias: cria (n= 30, idade 1-3 meses), recria (n= 24,

idade 4-14 meses) e lactante/não gestante (primíparas e multíparas) (n= 100, idade >15 meses) (Tabela 1).

Tabela 1. Descritiva do banco de dados obtidos de caprinos leiteiros

Variável	Média	Mín.	Máx.	SD
Peso kg	39,79	4,90	80,00	20,47
ECC	2,72	1,00	4,50	0,76
AC cm	78,71	37,23	101,48	17,09
AG cm	80,63	38,20	102,19	17,51
LG cm	21,40	7,77	30,93	5,77
CG cm	25,84	7,84	40,03	6,84
CC cm	77,69	35,30	109,39	18,25
P cm	37,67	17,24	55,05	8,81
LP cm	23,51	12,63	34,77	5,18
AP cm	42,57	18,46	54,99	9,37

ECC= escore de condição corporal. SD= desvio padrão. AC= altura da cernelha; AG= altura da garupa; LG= largura da garupa; CG= comprimento da garupa; CC= comprimento corporal; P= profundidade; LP= largura do peito; e AP= altura da pata.

Os animais foram criados em regime intensivo em baias coletivas com acesso solário (exceto, os animais da cria, os quais eram mantidos em gaiolas suspensas) além de serem equipadas com comedouro, bebedouro (água *ad libitum*), saleiro e piso com cobertura de cepilho de madeira.

As coletas foram realizadas durante um período de dois meses, nas quais o ECC dos animais em fases de recria e lactação (n= 124) foi avaliado uma única vez por três avaliadores devidamente treinados, utilizando uma escala de cinco pontos (Koyuncu e Altınçekiç, 2013; Suranindyah et al., 2018). Adicionalmente, o peso de todos os animais foi registrado uma única vez por meio de uma balança manual fixa.

Em seguida, foram realizadas as coletas das imagens bidimensionais (2D), onde um tripé profissional como auxílio e uma câmera Intel® RealSense™ (D435) foram utilizados para condução das gravações individuais das regiões: lateral esquerda, frente (externo) e superior (garupa) do animal. A câmera foi disposta em duas alturas em relação ao solo, para todas as regiões, exceto a região superior, a altura foi de 67 cm, enquanto para a região superior esteve posicionada a 1,35 m. Além disso, a distância da câmera até o animal foi de 1,80 m.

Assim, foram obtidos vídeos de 1 min por animal uma única vez e em seguida no *software Intel Viewer*, foram obtidos três *frames*, um para cada região do animal. As imagens apresentaram dimensões de 640 x 480 *pixels* e foram salvas em formato PNG. Posteriormente,

estas foram processadas no *software* ImageJ para obtenção dos valores em *pixels* de área, comprimento e perímetro (Abràmoff; Magalhães; Ram, 2004) da morfometria.

No ImageJ, a ferramenta *Straight* foi utilizada para mensurar as medidas corporais: altura da cernelha (AC) medida do ponto mais elevado da escápula até o solo, altura da garupa (AG) do ponto mais alto da garupa até o solo, comprimento corporal (CC) entre o ponto do ombro anterior até o ponto de inserção da cauda, profundidade (P) da linha dorsal até o ponto mais profundo do tórax, altura da pata (AP) do ponto mais alto da pata dianteira até o solo, largura do peito (LP) do ponto mais largo do peito e seu correspondente no lado oposto, largura da garupa (LG) entre os pontos onde a garupa é mais larga e comprimento da garupa (CG) do ponto frontal até o ponto mais posterior da garupa (adaptado de American Dairy Goat Association, 2022) (Figura 1). Para conversão em valores reais (cm), foram utilizados pontos de referência do ambiente nas gravações.

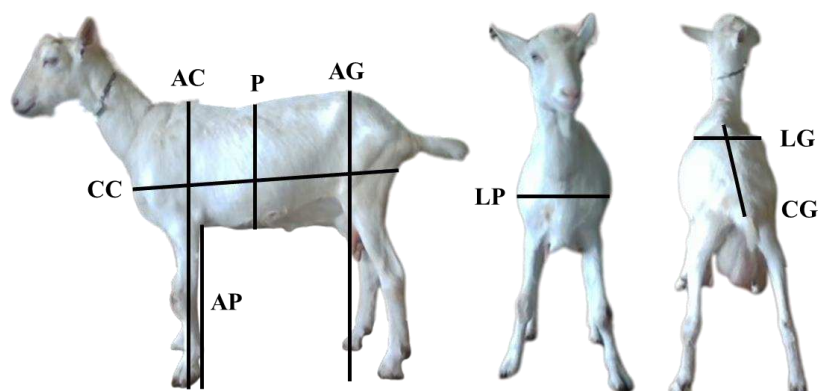


Figura 1. Esquemática da morfometria obtida na imagem. AC: altura da cernelha; AG: altura da garupa; CC: comprimento corporal; P: profundidade; AP: altura da pata; LP: largura do peito; LG: largura da garupa; e CG: comprimento da garupa.

Na análise estatística, a correlação de Pearson a 5% de significância foi aplicada para todas as variáveis, exceto, o ECC, que foi a de Spearman. As correlações foram categorizadas conforme preconizado por Callegari-Jacques (2003) em baixa (0,00 - 0,29), moderada (0,30 - 0,59), alta (0,60 - 0,89), muito alta (0,90 - 0,99) e perfeita (1,00) entre as medidas obtidas pelas imagens digitais e o peso corporal dos caprinos.

O banco de dados para a predição do peso corporal e classificação do ECC foi dividido em 70% de treinamento e 30% de teste. O algoritmo de aprendizado de máquina *Random Forest* (RF) foi utilizado em conjunto com as *features* de morfometria por imagem.

Para o peso corporal, o modelo foi otimizado através da seleção criteriosa de variáveis com base na redução do erro quadrático médio (RMSE) pelo método de validação cruzada (5 k-folds). Nesse método, os dados foram divididos em cinco subconjuntos distintos e o modelo então foi treinado e testado repetidamente, alternando quais subconjuntos foram utilizados para treinamento e teste. Isso permitiu uma avaliação ampla do desempenho do modelo em diferentes conjuntos de dados, proporcionando aumentar a confiabilidade dos resultados e redução do *overfitting*. Após os ajustes, a precisão e acurácia do modelo foram obtidas por interpretação do coeficiente de determinação (R^2), RMSE e erro médio absoluto (MAE).

Para a classificação do ECC, seguiu-se uma abordagem semelhante, ou seja, para as classificações novamente foi utilizado o RF pelo método de validação cruzada (5 k-folds). Após a etapa de ajuste, a precisão e acurácia do modelo foram avaliadas por meio da matriz de confusão aplicada aos dados de teste. Essa matriz está relacionada com o desempenho do modelo por mostrar quantas vezes cada classe de ECC foi corretamente ou incorretamente classificada.

3.3 Resultados

As correlações do peso com as imagens foram significativas ($p < 0,05$) e positivas (Figura 2). O peso corporal apresentou correlação alta com todas as variáveis com correlação superior a 0,70. Enquanto isso, o ECC não apresentou correlação significativa ($p > 0,05$) com as variáveis das imagens (dados não apresentados).

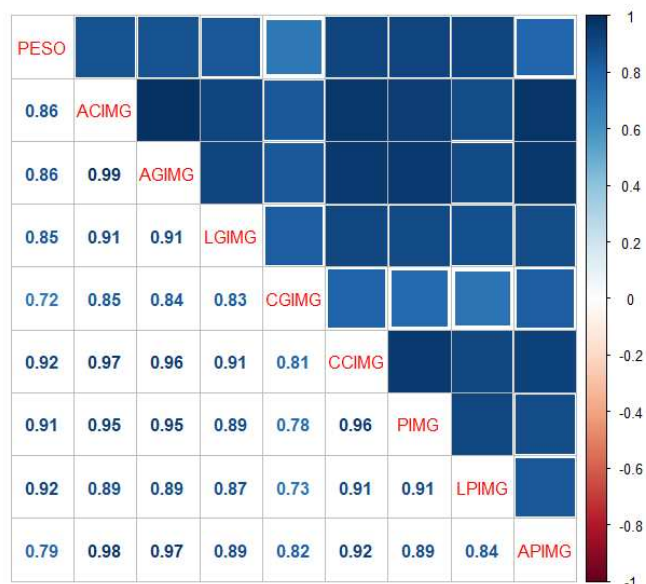


Figura 2. Correlação entre o peso corporal com a morfometria obtida pelas imagens. AC: altura da cernelha; AG: altura da garupa; LG: largura da garupa; CG: comprimento da garupa; CC: comprimento corporal; P: profundidade; LP: largura do peito; e AP: altura da pata. Variáveis seguidas por IMG representam as medições por imagens.

Foi possível prever o peso corporal através das medidas obtidas pelas imagens digitais de caprinos leiteiros com precisão de 0,87 de R^2 , RMSE de 7,13 e MAE de 5,16 kg (Figura 3).

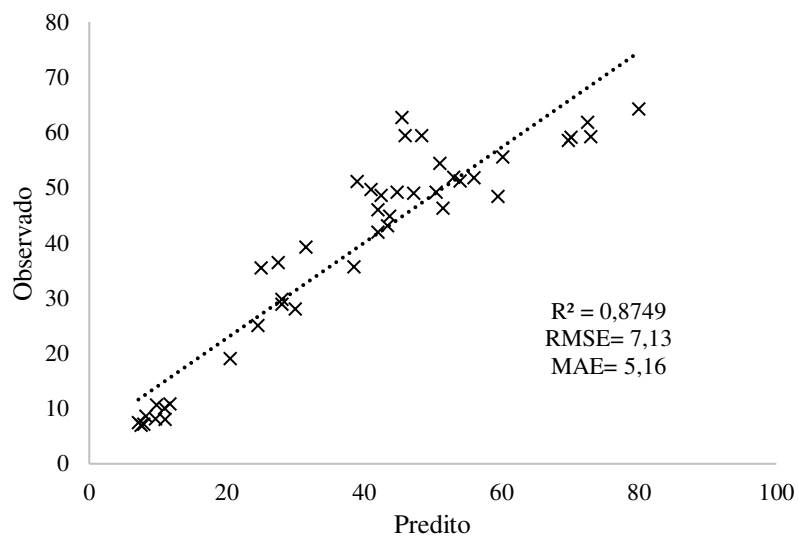


Figura 3. Verificação da predição do peso corporal de caprinos leiteiros através das imagens digitais. R^2 = coeficiente de determinação, RMSE= raiz do erro quadrático médio e MAE= erro médio absoluto.

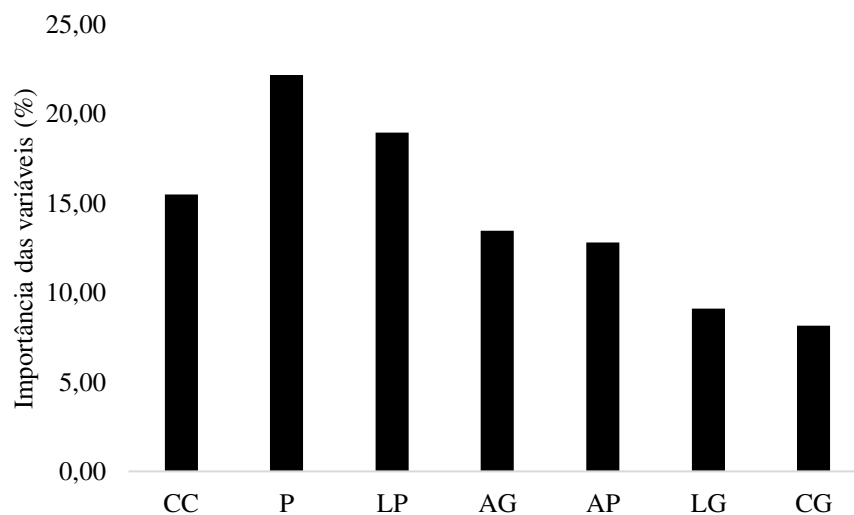


Figura 4. Importância das variáveis obtidas das imagens digitais para predição do peso corporal de caprinos leiteiros. CC= comprimento corporal; P= profundidade; LP= largura do peito; AG= altura da garupa; AP= altura da pata; LG= largura da garupa; e CG= comprimento da garupa.

Dentre as variáveis extraídas das imagens (Figura 4), a profundidade foi a que teve maior importância para o modelo, representando 22,14% da variação da predição do peso corporal. Seguindo a ordem de relevância, a largura do peito e o comprimento corporal também foram notáveis preditores, com variação de 18,93% e 15,47% de contribuição, respectivamente. Já a altura da garupa apresentou 13,44% e a altura da pata foi 12,79% da variação. Para a largura da garupa e comprimento da garupa a variação foi de 9,08% e 8,15% para predição, respectivamente.

Na matriz de confusão (Tabela 2), os números destacados em negrito caracterizam as predições aceitáveis. Dentre o conjunto de dados de teste (37 observações), o erro da classificação foi de 0,5945 e a acurácia de 0,4054 da classificação do ECC e apenas a classe 2 a 3 foi mais assertiva com 10 animais bem classificados.

Tabela 2. Matriz de confusão do conjunto de teste para predição de classes de escore de condição corporal de caprinos leiteiros

ECC observado	ECC predito		
	>3 (n=9)	1 a 2 (n=9)	2 a 3 (n=19)
>3 (n=11)	2	1	6
1 a 2 (n=8)	4	3	2
2 a 3 (n=18)	5	4	10

ECC= escore de condição corporal.

Dentre as variáveis de importância para a classificação do ECC (Figura 5), a largura do peito foi a que apresentou maior contribuição (20,38%), em seguida a altura da garupa (15,78%) e comprimento da garupa (12,63%). Enquanto isso, o comprimento corporal, largura da garupa, profundidade e altura da cernelha apresentaram as seguintes porcentagens de contribuição: 11,73%, 10,74%, 10,53% e 10,02%, respectivamente. A variável que teve menos importância foi a altura da pata (8,15%).

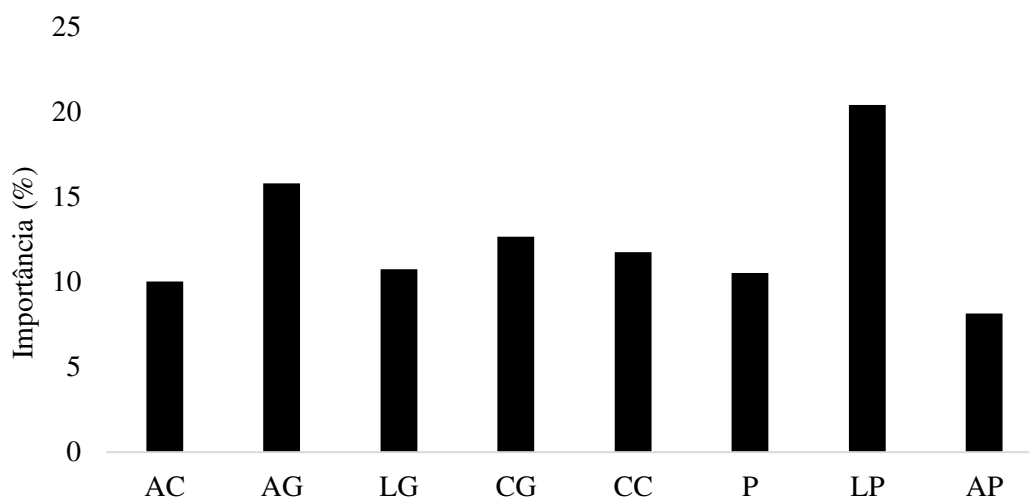


Figura 5. Importância das variáveis obtidas das imagens digitais para a predição do escore de condição corporal de caprinos leiteiros. AC= altura da cernelha; AG= altura da garupa; LG= largura da garupa; CG= comprimento da garupa; CC= comprimento corporal; P= profundidade; LP= largura do peito; e AP= altura da pata.

3.4 Discussão

As variáveis comprimento corporal, largura do peito e profundidade foram as que mais se correlacionaram com o peso corporal ($r > 0,90$) (Figura 2) e foram as três mais importantes que contribuíram para o modelo de predição (Figura 4). Çakmakçi (2022) avaliando quatro modelos de predição do peso de ovinos Norduz, utilizando o mesmo método (*Random Forest*) empregado nesse estudo, observou que as mesmas variáveis foram as mais importantes para explicar o modelo. Pesmen e Yardimci (2008) observaram que o comprimento corporal e a profundidade apresentaram alta correlação com o peso corporal ($r > 0,70$) de cabras Saanen lactantes e enfatizam que para estimar o peso desses animais, utilizar menos medidas é mais interessante para predição, uma vez que, tornaria o procedimento mais simples.

Berhe (2017) reforça que selecionar essas medidas para estimativa do peso corporal, reduz a dependência do uso de balanças nas criações de caprinos. Por essa razão, a aplicação de técnicas de processamento de imagens aliadas ao aprendizado de máquina emerge como uma alternativa promissora para predizer com precisão o peso corporal, eliminando a necessidade de conter fisicamente os animais (Sant'Ana et al., 2021).

Com relação a importância do comprimento corporal para a predição do peso, Rahman et al. (2008) demonstraram que essa medida está intimamente relacionada com o desenvolvimento do sistema ósseo e muscular, proporcionando que os animais aumentem o

comprimento corporal. Tyasi et al. (2020) utilizando uma regressão linear simples, observaram que à medida que aumenta 1 cm do comprimento corporal, eleva-se 0,58 kg do peso corporal de fêmeas caprinas.

Nesse estudo, foram observadas correlações positivas e significativas de todas as medidas com o peso corporal, além de contribuírem para a alta precisão ($R^2 = 0,87$) para sua predição. Além disso, dentre as oito mensurações, sete foram importantes para explicar o modelo. Segundo Berhe (2017), essas medidas oferecem a vantagem de possibilitar a identificação em que estágio de crescimento ou desenvolvimento os animais se encontram. Sob essa perspectiva, Sabry et al. (2019) indicam que as medidas corporais lineares apresentam potencial para predizer o peso corporal de caprinos Shami através de modelos de regressão linear e com precisão.

Apesar da alta precisão das variáveis com o peso, a acurácia encontrada foi baixa, isto pois, como os caprinos são animais ativos, pode haver distorções nas vídeo-imagens (Li e Teng, 2022), afetando na qualidade da obtenção dos melhores *frames*, conseqüentemente nas mensurações na imagem. Outra razão, seria os pelos dos animais, como relatado por Li e Teng (2022) a mensuração pela imagem pode ocorrer próximo ao pelo ao invés do corpo, enviesando os resultados. Assim, é necessário melhorar a qualidade das mensurações e pontos de referência para se obter uma predição mais fidedigna (Song et al., 2018).

Em relação a predição do ECC, na matriz de confusão (Tabela 2), observou-se que o ECC de 2 a 3 foi melhor classificado para os caprinos, isso pode ser explicado pelo maior banco de dados para essa classe. Porém, os resultados mostram pouca capacidade assertiva do modelo em classificar bem a condição desses animais em razão do erro alto e acurácia baixa. Possivelmente, o motivo seria o número de observações insuficiente para treinar e testar de forma eficaz o modelo, principalmente para as classes 1 a 2 e >3. Isso também é evidenciado no estudo de Alvarez et al. (2018), onde observaram que o ECC de 4,5 de vacas Holandesas não foi classificado em razão do número de dados para essa classe ter sido de apenas três, ou seja, apenas duas amostras foram treinadas e uma testada, independentemente das faixas de erro inerentes a um banco de dados de 1661 imagens, sendo 1158 (70%) destinado para treinamento e 503 (30%) para teste.

Na importância de cada variável para a predição do ECC (Figura 5), a largura do peito demonstrou a maior contribuição para o modelo. Isso era esperado, uma vez que, em caprinos a maior deposição de gordura encontra-se na região esternal (peito) ao invés da região lombar e dorsal, por essa razão para a predição do ECC de caprinos utilizar o esterno é mais viável (Hervieu et al., 1991), pois essa deposição de gordura é diferente de ovinos (Mendizabal et

al., 2007). Esses achados reforçam com a pesquisa de Mendizabal et al. (2010), onde observaram uma maior precisão para estimativa da gordura total de fêmeas caprinas Blanca Celtibérica utilizando o ECC pela região esternal com R^2 de 0,90 comparado com o ECC da região lombar com R^2 de 0,59.

3.5 Conclusões

As imagens digitais demonstram capacidade de predizer com precisão o peso corporal, porém, não classificam o ECC de fêmeas caprinas leiteiras.

Referências

ABRÀMOFF, M. D.; MAGALHÃES, P. J.; RAM, S. J. Image processing with ImageJ. **Biophotonics International**, v. 11, n. 7, p. 36-42, 2004.

ALVAREZ, J. R. et al. Body condition estimation on cows from depth images using Convolutional Neural Networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 155, p. 12-22, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.039>.

AMERICAN DAIRY GOAT ASSOCIATION - ADGA. **Guidebook**. Spindale, NC. 2022.

AZZARO, G. et al. Objective estimation of body condition score by modeling cow body shape from digital images. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 4, p. 2126-2137, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3467>.

BERHE, W. G. Relationship and prediction of body weight from morphometric traits in Maefur goat population in Tigray, Northern Ethiopia. **Journal of Biometrics & Biostatistics**, v. 8, n. 5, p. 1-6, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/2155-6180.1000370>.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003.

CAROPRESE, M. et al. Monitoring the on-farm welfare of sheep and goats. **Italian Journal of Animal Science**, v. 8, n. 1, p. 343-354, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.s1.343>.

ÇAKMAKÇI, C. Live weight prediction in Norduz sheep using machine learning algorithms. **Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology**, v. 10, n. 4, p. 587-594, 2022. DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i4.587-594.4670>.

FERGUSON, J. D.; Azzaro, G.; Licitra, G. Body condition assessment using digital images. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 10, p. 3833-3841, 2006. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72425-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72425-0).

GHOSH, C. P. et al. Body condition scoring in goat: Impact and significance. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 7, n. 2, p. 554-560, 2019.

HALACHMI, I. et al. Cow body shape and automation of condition scoring. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 11, p. 4444-4451, 2008. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0785>.

HALACHMI, I. et al. Automatic assessment of dairy cattle body condition score using thermal imaging. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 99, p. 35-40, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.012>.

HERVIEU, J. et al. Mesures anatomiques permettant d'expliquer les variations des notes sternales, lombaires et caudales utilisées pour estimer l'état corporel des chèvres laitières. **Options Méditerranéennes**, n. 13, p. 43-56, 1991. Disponível em: <https://om.ciheam.org/om/pdf/a13/92605094.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2023.

IQBAL, F. et al. Comparing the predictive ability of machine learning methods in predicting the live body weight of Beetal goats of Pakistan. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 54, n. 1, p. 231-238, 2022. DOI: <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20191003081007>.

KOYUNCU, M.; ALTINÇEKIÇ, Ş. Ö. Importance of body condition score in dairy goats. **Macedonian Journal of Animal Science**, v. 3, n. 2, p. 167-173, 2013. DOI: <https://doi.org/10.54865/mjas1332167k>.

KUZUHARA, Y. et al. A preliminary study for predicting body weight and milk properties in lactating Holstein cows using a three-dimensional camera system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 111, p. 186-193, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.020>.

LI, K.; TENG, G. Study on body size measurement method of goat and cattle under different background based on deep learning. **Electronics**, v. 11, n. 7, p. 993, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics11070993>.

MAHIEU, M.; NAVÈS, M.; ARQUET, R. Predicting the body mass of goats from body measurements. **Livestock Research for Rural Development**, v. 23, n. 9, p. 192, 2011.

MARTINS, B. M. et al. Estimating body weight, body condition score, and type traits in dairy cows using three dimensional cameras and manual body measurements. **Livestock Science**, v. 236, p. 104054, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104054>.

MENDIZABAL, J. A. et al. Lipogenic activity in goats (Blanca celtibérica) with different body condition scores. **Small Ruminant Research**, v. 67, n. 2-3, p. 285-290, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.11.006>.

MENDIZABAL, J. A. et al. A comparison of different pre and post-slaughter measurements for estimating fat reserves in Spanish Blanca Celtiberica goats. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 90, n. 3, p. 437-444, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4141/CJAS10023>.

MENDIZABAL, J. A. et al. Body condition score and fat mobilization as management tools for goats on native pastures. **Small Ruminant Research**, v. 98, n. 1-3, p. 121-127, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.029>.

- MILLER, G. A. et al. Using 3D imaging and machine learning to predict liveweight and carcass characteristics of live finishing beef cattle. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 3, p. 30, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00030>.
- PESMEN, G.; YARDIMCI, M. Estimating the live weight using some body measurements in Saanen goats. **Archiva Zootechnica**, v. 11, n. 4, p. 30-40, 2008.
- PUTRA, B. W. et al. Application of digital image technique for morphometrics measurement on Bali and Ongole cattle. **Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia**, v. 21, n. 1, p. 63-68, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18343/jipi.21.1.63>.
- RAHMAN, A. S. et al. Morphometric characterization and relationship of body weight with linear body measurements in Black Bengal buck. **Bangladesh Journal of Animal Science**, v. 37, n. 2, p. 8-16, 2008. DOI: <https://doi.org/10.3329/bjas.v37i2.9876>.
- RUCHAY, A. et al. Live weight prediction of cattle based on deep regression of RGB-D images. **Agriculture**, v. 12, n. 11, p. 1794, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12111794>.
- SABRY, Abd-Allah. et al. Some body measurements as a management tool for Shami goats raised in subtropical areas in Egypt. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 43, n. 1, p. 1-6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0042-9>.
- SANT'ANA, D. A. et al. Weighing live sheep using computer vision techniques and regression machine learning. **Machine Learning with Applications**, v. 5, p. 100076, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100076>.
- SONG, X. et al. Automated body weight prediction of dairy cows using 3-dimensional vision. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4448-4459, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13094>.
- SURANINDYAH, Y. Y. et al. Effect of feeding high proportion concentrates containing Tofu waste on nutrient consumption, milk production, body condition score and postpartum mating period of dairy goats in Yogyakarta, Indonesia. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 17, n. 12, p. 702-708, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3923/pjn.2018.702.708>.
- TAO, Y.; LI, F.; SUN, Y. Development and implementation of a training dataset to ensure clear boundary value of body condition score classification of dairy cows in automatic system. **Livestock Science**, v. 259, p. 104901, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104901>.
- TASDEMIR, S.; URKMEZ, A.; INAL, S. Determination of body measurements on the Holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 76, n. 2, p. 189-197, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.02.001>.
- TYASI, T. L. et al. Assessment of relationship between body weight and morphological traits of South African nondescript indigenous goats. **Journal of Animal Health and Production**, v. 8, n. 1, p. 32-39, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14737/journal.jahp/2020/8.1.32.39>.

VIEIRA, A. et al. Development and validation of a visual body condition scoring system for dairy goats with picture-based training. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 1, p. 6597-6608, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9428>.

WANG, Z. et al. ASAS-NANP SYMPOSIUM: Applications of machine learning for livestock body weight prediction from digital images. **Journal of Animal Science**, v. 99, n. 2, p. skab022, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skab022>.

WEBER, V. A. D. M. et al. Prediction of Girolando cattle weight by means of body measurements extracted from images. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 49, 2020. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz4920190110>.

WIDIYONO, I.; SARMIN, S.; YANUARTONO, Y. Influence of body condition score on the metabolic and reproductive status of adult female Kacang goats. **Journal of Applied Animal Research**, v. 48, n. 1, p. 201-206, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2020.1764361>.

ZHANG, A. L. et al. Development and validation of a visual image analysis for monitoring the body size of sheep. **Journal of Applied Animal Research**, v. 46, n. 1, p. 1004-1015, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1450257>.