



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

NICOLY FARIAS GOMES

MONITORAMENTO DO PESO VIVO DE SUÍNOS POR MEIO DA ANÁLISE DE IMAGENS

RECIFE-PE
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

**MONITORAMENTO DO PESO VIVO DE SUÍNOS POR MEIO DA ANÁLISE
DE IMAGENS**

Tese apresentada a
Universidade Federal
Rural de Pernambuco
como requisito para
obtenção do grau de
Doutora em Engenharia
Agrícola.

Orientador: Héilton Pandorfi

RECIFE-PE
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G633m Gomes, Nicolý Farias
MONITORAMENTO DO PESO VIVO DE SUÍNOS POR MEIO DA ANÁLISE DE IMAGENS / Nicolý Farias
Gomes. - 2022.
92 f. : il.
- Orientador: Heliton Pandorfi.
Inclui referências.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2022.
1. Análise de imagem. 2. Biometria. 3. Desempenho de suínos. 4. Modelagem. 5. Visão Computacional. I. Pandorfi, Heliton, orient. II. Título

NICOLY FARIAS GOMES

Monitoramento do peso vivo de suínos por meio da análise de imagens

Trabalho de Tese apresentada a Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para obtenção do grau de Doutora em Engenharia Agrícola sob a orientação do Prof. Dr. Héilton Pandorfi.
Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Héilton Pandorfi (Orientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. José Antônio Delfino Barbosa Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. João Paulo Silva do Monte Lima
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. Ricardo Brauer Vigoderis
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, por me proteger e iluminar, me dando força e coragem para vencer os obstáculos durante esse percurso.

Aos meus pais, Maria das Neves e Ivan Gomes. Obrigada por serem minha base, e por ultrapassarem a barreira do possível por mim. É por vocês, e sempre será!
Aos meus padrinhos, Maria Dalva e João Guilherme. Por todo suporte, por todo carinho.

A Martinho Lima, pelo apoio, pelo cuidado, e por estar ao meu lado.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pelo acolhimento durante minha trajetória acadêmica, desde a graduação até a realização do doutorado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE pela oportunidade de realizar este curso de doutorado.

Ao professor Dr. Héilton Pandorfi, pela orientação atenciosa, pela amizade, confiança, incentivo e entusiasmo na execução deste trabalho, responsável pelo meu crescimento pessoal e científico.

A professora Dra. Cristiane Guiselini pelas sugestões e ensinamentos para engrandecimento deste trabalho.

Ao professor Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida, pela confiança, pela amizade e incentivo durante a realização desse trabalho, no qual estendo esse agradecimento a toda sua família e a todos que fazem parte da fazenda Roçadinho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos e valiosas contribuições.

À Taize Santana e Marcos Vinícius pela cooperação na instalação e condução do experimento de campo, por dividir as incríveis experiências, pela convivência tranquila, pela amizade e pelos conhecimentos compartilhados.

Ao GPESA (Grupo de Pesquisa em Ambiente – UFRPE) pelo apoio, ambiente agradável e de constante crescimento.

Aos queridos Pedro Henrique, Sávio Cavalcante, Rodes Batista, Maria Vitória, Maria Eduarda, Ingrid Nascimento, Kenny ... pela ciência que são, e pela amizade.

À Raíssa Antunes, Oucilane Ingrit, e Diego Souza, pela amizade, cumplicidade contribuições inestimáveis e presença, mesmo quando havia distância.

Aos meus irmãos, Rafaela Farias e Rafael Farias, pelo amor e pelo apoio incondicional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos para a realização do curso de mestrado.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 HIPÓTESES E OBJETIVOS	16
2.1 HIPÓTESES	16
2.2 OBJETIVOS.....	16
2.2.1 GERAL	16
2.2.2 ESPECÍFICOS	16
CAPÍTULO I REVISÃO DE LITERATURA	17
1 AMBIENTE DE PRODUÇÃO PARA SUÍNOS	17
2 DESEMPENHO E ÍNDICES ZOOTÉCNICOS	19
3 INDICADORES BIOMÉTRICOS DE CRESCIMENTO DE SUÍNOS	21
4 SUINOCULTURA DE PRECISÃO	22
5 AGROPECUÁRIA DIGITAL	24
6 MONITORAMENTO DO PESO VIVO E A AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS	26
7 VISÃO COMPUTACIONAL NA AGROPECUÁRIA	28
8 ESTIMATIVA DO PESO VIVO DE ANIMAIS DE PRODUÇÃO POR MEIO DA VISÃO COMPUTACIONAL	29
9 ANÁLISE DE IMAGEM	31
REFERÊNCIAS.....	33
CAPÍTULO II MODELAGEM BIOMÉTRICA PARA ESTIMATIVA DO PESO VIVO DE SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO	47
1 INTRODUÇÃO	49
2 MATERIAL E MÉTODOS	50
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4 CONCLUSÕES	64
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS.....	65
CAPÍTULO III PREDIÇÃO DO PESO VIVO DE SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO POR MEIO DE IMAGENS 3D	69
1 INTRODUÇÃO.....	71

2 MATERIAL E MÉTODOS	72
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
4 CONCLUSÕES	89
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
REFERÊNCIAS.....	90

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 1** - América do sul (A); Mesorregiões de Pernambuco (B); Hipsometria de Capoeiras (C); Classificação de Köppen (D); Geolocalização da Fazenda Roçadinho (E). 45
- Figura 2** - Imagem da câmera Kinect V2 fixada no telhado da instalação e brete de contenção acoplado à balança.. 46
- Figura 3** - Esquema das marcações das medidas manuais dos suínos. 1 - comprimento do corpo; 2 - altura à cernelha; 3 - perímetro torácico; 4 - altura da garupa e; 5 - largura da garupa. 47
- Figura 4** - Componentes principais dos animais amostrados na fase de crescimento relacionados as variáveis estudadas (A); correlação por componentes principais das medidas biométricas (comprimento, perímetro torácico, altura da garupa, altura à cernelha e largura da garupa) relacionadas ao peso vivo dos animais (B).48
- Figura 5** - Representação gráfica dos valores do peso real e dos pesos estimados pelos modelos CRESC1 e CRESC2.49
- Figura 6** - Componentes principais dos animais amostrados na fase de terminação relacionados as variáveis preditoras (A); correlação por componentes principais das medidas biométricas (comprimento, perímetro torácico, altura da garupa, altura à cernelha e largura da garupa) relacionadas ao peso vivos dos animais (B).52
- Figura 7** - Representação gráfica dos valores do peso real e dos pesos estimados pelos modelos TERM1 e TERM2.52
- Figura 8** - Componentes principais dos animais amostrados nas duas fases de criação relacionados as variáveis preditoras (A); componentes principais das medidas biométricas (comprimento, perímetro torácico, altura da garupa, altura à cernelha e largura da garupa) relacionadas ao peso vivos dos animais (B).55
- Figura 9** - Representação gráfica dos valores do peso real e do peso estimado pelo modelo global para a junção das duas fases de criação.57

CAPÍTULO III

Figura 1 - América do sul (A); Mesorregiões de Pernambuco (B); Hipsometria de Capoeiras (C); Classificação de Köppen (D); Geolocalização da Fazenda Roçadinho (E).	67
Figura 2 - Tela de captura do software mostrando o brete vazio (A); vista superior do brete de contenção e demarcação da região de captura da imagem (B).	68
Figura 3 - Imagem da balança eletrônica Filizola (A) e fita métrica plástica fixada em bastão de madeira (B).	69
Figura 4 - Notebook executando o SDK (Kinect Fusion Explorer): vista da janela de captura das imagens 3D.....	69
Figura 5 - Vista lateral (A) e frontal (B) do brete acoplado na balança e a posição da fixação do Kinect.	70
Figura 6 - Esquema das marcações das medidas manuais dos suínos. 1 - comprimento do corpo; 2 - altura à cernelha; 3 - perímetro torácico; 4 - altura da garupa e; 5 - largura da garupa.	70
Figura 7 - Marcação dos pontos para cálculo das medidas biométricas nas fases de crescimento (A) e terminação (B).	71
Figura 8 - Marcação dos três pares de pontos para o cálculo do perímetro torácico na fase de crescimento (A) e terminação (B).	72
Figura 9 - Aplicação dos cortes superior e lateral e resultado da aplicação dos dois cortes para delimitação do corpo do suíno (A); Criação do casco convexo com out liers na imagem, marcação e remoção dos out liers e criação do casco convexo com o corpo do animal sem out liers (B).	72
Figura 10 - Representação gráfica da relação do peso vivo dos suínos (Peso, kg) com o Volume (m ³) para as fases de crescimento (A); terminação (B) e global (C).	74
Figura 11 - Representação gráfica do peso vivo estimado através do volume e o peso vivo real obtido através de balança eletrônica para o conjunto de dados global.	75
Figura 12 - Representação gráfica das regressões com linha de tendência, equação e coeficiente de determinação (R ²) para altura da garupa (A), comprimento (B), largura da garupa (C), altura a cernelha (D) e perímetro torácico (E) na fase de crescimento.	76

Figura 13 - Representação gráfica das regressões com linha de tendência, equação e coeficiente de determinação (R^2) para altura da garupa (A), comprimento (B), largura da garupa (C), altura a cernelha (D) e perímetro torácico (E) na fase de terminação.	77
Figura 14 - Representação gráfica das regressões com linha de tendência, equação e coeficiente de determinação (R^2) para altura da garupa (A), comprimento (B), largura da garupa (C), altura a cernelha (D) e perímetro torácico (E) para o global.....	78
Figura 15 - Componentes principais dos animais amostrados na fase de crescimento relacionados as variáveis estudadas (A); correlação por componentes principais das medidas biométricas reais e estimadas relacionadas ao peso vivo e volume dos animais (B).....	80
Figura 16 - Componentes principais dos animais amostrados na fase de terminação relacionados as variáveis estudadas (A); correlação por componentes principais das medidas biométricas reais e estimadas relacionadas ao peso vivo e volume dos animais (B).....	81
Figura 17 - Componentes principais dos animais amostrados na global relacionados as variáveis estudadas (A); correlação por componentes principais das medidas biométricas reais e estimadas relacionadas ao peso vivo e volume dos animais (B).....	82

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para o modelo CRESC1.	50
Tabela 2 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para o modelo CRESC2..	51
Tabela 3 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para o modelo TERM1.....	53
Tabela 4 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para o modelo TERM2.....	54
Tabela 5 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para o modelo global.....	56

CAPÍTULO III

Tabela 1 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para a estimativa do peso vivo dos animais nas fases de crescimento (CRESC), terminação (TERM) e GLOBAL.....	74
Tabela 2 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para a relação das variáveis biométricas reais e estimadas dos animais para os dados globais.....	79

MONITORAMENTO DO PESO VIVO DE SUÍNOS POR MEIO DA ANÁLISE DE IMAGENS

RESUMO GERAL

A determinação do desempenho animal exige mão-de-obra e tempo para a condução dos animais ao centro de manejo e acesso a balança para o monitoramento do peso vivo do animal, prática que pode resultar em uma etapa estressante, tanto para os animais, como aos profissionais envolvidos no processo. Para superar os problemas inerentes a pesagem manual, o uso de imagem digital 2D ou 3D estão sendo empregadas para estimar ou medir as características corporais de vários animais de produção. Nesse contexto, esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de desenvolver modelos matemáticos para determinação do peso vivo de suínos a partir de variáveis biométricas do animal, código de programação e procedimento computacional para estimar o peso vivo de suínos nas fases de crescimento e terminação, por meio da análise de imagem obtida por câmera de profundidade (3D). O estudo foi conduzido na Fazenda Roçadinho, no município de Capoeiras, localizada região Agreste do estado de Pernambuco, onde foram realizadas as pesagens (kg), medições manuais de cinco parâmetros biométricos (comprimento do corpo, m; perímetro torácico, m; altura à cernelha, m; altura da garupa, m; largura da garupa, m) e imagens 3D por meio de uma câmera Kinect® - V2 de 20 animais na fase de crescimento e 24 animais na fase de terminação, do cruzamento de Pietrain e Large White, totalizando 44 animais (machos e fêmeas). Os maiores coeficientes de determinação (R^2) apresentados pelos modelos de predição propostos para as fases de crescimento e terminação foram de 91,32 e 84,68%, respectivamente, sendo o modelo global de 98,97%, o que denota a confiabilidade e aplicabilidade dos modelos desenvolvidos. Para analisar as imagens 3D foi desenvolvido um programa em Python, sendo que o coeficiente de determinação linear entre o peso e o volume estimado foi de 78,5, 74,5 e 97,8% para suínos nas fases de crescimento, terminação e global, mostrando que essa relação é positiva e expressa de forma satisfatória o peso dos animais.

Palavras-chave: análise de imagem, biometria, desempenho de suínos, modelagem

MONITORING THE LIVE WEIGHT OF PIGS THROUGH IMAGE ANALYSIS

GENERAL ABSTRACT

Determining animal performance requires labor and time to drive the animals to the management center and access the scales for monitoring the animal's live weight, a practice that can result in a stressful step for both the animals and the professionals involved in the process. To overcome the problems inherent to manual weighing, the use of 2D or 3D digital imaging is being employed to estimate or measure the body characteristics of various production animals. In this context, this research was conducted with the objective of developing mathematical models for determining the live weight of pigs from the biometric variables of the animal, programming code and computational procedure to estimate the live weight of pigs in the phases of growth and termination, through the analysis of image obtained by depth camera (3D). The study was conducted at Roçadinho farm, in the Capoeiras district, located in the Agreste region of the state of Pernambuco, where were performed the weighing (kg), manual measurements of five biometric parameters (body length, m; chest circumference, m; (body length, m; chest circumference, m; height at the withers, m; croup height, m; croup width, m) and 3D images by a Kinect® - V2 camera of 20 animals in the growing phase and 24 animals in the termination phase of the crossbreeding between Pietrain and Large White, totaling 44 animals (males and females). The highest determination coefficients (R^2) presented by the proposed prediction models for the growing and termination phases were 91.32 and 84.68%, respectively, and the overall model was 98.97%, which denotes the reliability and applicability of the models developed. A Python program was developed to analyze the 3D images. The coefficient of linear determination between estimated weight and volume was 78.5, 74.5 and 97.8% for pigs in the growing, termination and global phases, showing that this relationship is positive and expresses satisfactorily the weight of the animals.

Keywords: image analysis, biometrics, pig performance, modeling

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil continua sendo o 4º maior produtor e exportador de carne suína do mundo. Em 2021, produziu 4,701 milhões de toneladas de carne suína, sendo 24,1% destinado a exportação. O consumo per capita vem crescendo desde 2016, chegando a 16,7 Kg hab⁻¹ ano⁻¹ em 2021. As unidades federativas que mais se destacam na produção de carne suína no país são Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso e Minas Gerais, somando 87,45% da produção nacional, esses mesmos estados são responsáveis por 96,86% das exportações nacionais (ABPA, 2022). Diante desse cenário, percebe-se o quanto a agropecuária nacional vem crescendo e se desenvolvendo para atender as exigências de um mercado cada vez mais exigente, tecnificado e competitivo.

Por ser uma atividade praticada em diversas regiões do mundo, a suinocultura tem grande importância sócio econômica. Neste contexto, entende-se que a suinocultura nacional vem se modernizando de forma consistente a fim de impactar positivamente a sociedade, atingindo altos padrões de qualidade e expressiva produção.

Apesar da excelente posição do Brasil no ranking mundial, a competição com outros países ainda é um desafio, ligado a fatores que sustentam a produção, tais como: biossegurança, sanidade, investimento em mão de obra e principalmente na promoção do bem-estar animal.

O mercado consumidor, após um processo de globalização, tem se tornado cada vez mais exigente quanto a busca por produtos com maior qualidade e procedência conhecida. Nesse sentido, investimentos em ambiência, nutrição e manejo, tornaram-se indispensáveis para manter os produtos dentro dos padrões esperados (DAWKINS, 2017; GRANDIN, 2014).

A globalização traz consigo um movimento conhecido como agropecuária digital, que consiste no emprego da tecnologia da informação na cadeia de produção, para melhorar processos e aprimorar a gestão dos negócios, utilizando ferramentas que auxiliam no maior controle de custos, maior eficiência e na solução de problemas, a partir do acompanhamento de todas as fases de produção.

Uma das variáveis que pode ser monitorada através do emprego da tecnologia de informação nas propriedades agrícolas é o desempenho animal, de grande importância para a criação, indicando possíveis ajustes necessários no manejo de suínos, pois, serve como indicador para o crescimento, a saúde e a prontidão dos animais para o mercado (WANG *et al.*, 2008). Nesse contexto, o trabalho e o tempo despendido no monitoramento do peso vivo do animal, exige mão de obra para a condução dos animais ao centro de

manejo e acesso a balança, o que pode resultar em uma etapa estressante, tanto para os animais, como aos profissionais envolvidos no processo (JUN; KIM; JI, 2018; KONGSRO, 2014; MARINELLO *et al.*, 2015).

Para superar os problemas causados pela pesagem manual, abordagens baseadas em imagem digital estão sendo utilizadas para estimar ou medir as características corporais de vários animais (GUO *et al.*, 2017; MORTENSEN; LISOUSKI; AHRENDT, 2016; PEZZUOLO *et al.*, 2018). No caso dos suínos, as imagens foram capturadas de cima e às vezes de lado ao mesmo tempo, usando câmeras 2D ou 3D (KASHIHA *et al.*, 2014a; KOLLIS *et al.*, 2007; MCFARLANE *et al.*, 2005; PEZZUOLO *et al.*, 2018; SHI; TENG; LI, 2016).

É crescente o uso das aplicações da tecnologia computacional visando automatizar processos como soluções para problemas reais. A utilização de câmeras 2D ou 3D têm sido aplicada de forma ampla na agropecuária, como o monitoramento da alimentação animal, a localização, a condição de alojamento e a identificação de comportamentos.

Os métodos baseados em imagens 3D têm sido estudados para diferentes aplicações, devido às vantagens da informação de profundidade (KUZUHARA *et al.*, 2015; VÁZQUEZ-ARELLANO *et al.*, 2016). Além da adoção de câmeras de profundidade 3D ser de baixo custo, gerando o aumento em aplicações agrícolas e pecuárias (ROSELL-POLO *et al.*, 2015; VIAZZI *et al.*, 2014).

O desenvolvimento desses sistemas de medição automática de peso ainda apresenta algumas limitações quanto aos ajustes no tratamento das imagens, modelos de aquisição das imagens, adequação de características como raça e idade ao modelo, mostrando que existem possibilidades que podem ser exploradas a fim de alcançar o melhor resultado quanto a estimativa do peso vivo dos suínos.

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 HIPÓTESES

O uso da visão computacional como estratégia para acompanhar o ganho de peso dos suínos nas fases de crescimento e terminação é uma alternativa viável, de fácil instalação e execução.

A relação entre o volume do animal e as medidas biométricas obtidas através das imagens 3D para a obtenção do peso vivo de forma não invasiva, se mostra significativa ao ser adotada no sistema de pesagem.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 GERAL

Desenvolver modelos biométricos, código de programação e procedimento computacional para estimar o peso vivo de suínos nas fases de crescimento e terminação, por meio da análise de imagem obtida por câmera de profundidade.

2.2.2 ESPECÍFICOS

Neste contexto, os objetivos específicos são:

Desenvolver modelos matemáticos para determinação do peso vivo de suínos nas fases de crescimento e terminação, a partir de variáveis biométricas do animal;

Comparar a relação das variáveis biométricas reais e estimadas através da análise de imagem, com ênfase na determinação do peso vivo de suínos;

Realizar o desenvolvimento de processos computacionais como base para criação de um programa de computador para predição do peso vivo de suínos.

CAPÍTULO I REVISÃO DE LITERATURA

1 AMBIENTE DE PRODUÇÃO PARA SUÍNOS

O sucesso na produção de suínos está associado a diversos fatores que se relacionam, para tanto, faz-se necessário a integração dos mais variados segmentos como genética, nutrição, manejos reprodutivos, sanitário, ambiência, aplicados ao longo de todas as fases de produção (MATOS *et al.*, 2017). É primordial manter esse sistema em equilíbrio já que a suinocultura é uma atividade que visa, fundamentalmente, obter o máximo potencial produtivo e o mínimo custo de produção, aliados à qualidade do desempenho dos leitões e conseqüentemente nas demais fases de criação.

Os componentes ambientais são peças essenciais no processo produtivo e, podem ser divididos em físicos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, ventilação, tipologia das instalações), sociais (hierarquia, tamanho e composição do grupo, presença ou ausência de animais estranhos) e o manejo (desmame, dieta, formas de arraçamento). O ambiente físico, por abranger os elementos meteorológicos que afetam os mecanismos de transferência de energia, a regulação e o balanço térmico entre o animal e o ambiente, exerce forte influência sobre o desempenho e a saúde dos animais (SAMPAIO *et al.*, 2004).

No sistema industrial de produção de suínos, a alimentação representa de 54 a 76% dos custos totais, a depender do nível tecnológico empregado na unidade produtiva (SANTOS *et al.*, 2013), fazendo da nutrição dos animais um ponto crucial, podendo comprometer toda a cadeia suinícola.

Enquanto o animal do futuro não está completamente acessível, caracterizado pelo elevado potencial produtivo e rusticidade adaptativa, algumas estratégias nutricionais podem ser utilizadas em animais mais sensíveis as limitações ambientais, ao exemplo da sensibilidade ao estresse por calor, principalmente nas estações em que ocorrem as maiores temperaturas. Essas estratégias têm como foco o balanço adequado de nutrientes, com redução no incremento calórico da dieta, sem provocar impacto nutricional que atrapalhe o desempenho dos animais (SANTOS, 2019).

Uma das formas de se obter genótipos adaptados as condições climáticas tropicais, a expressão fenotípica pode ser alcançada pela utilização das melhores raças disponíveis, através do melhoramento genético, por meio de seleção e sistemas de cruzamentos. Essas são uma das principais ferramentas disponíveis para melhorar a eficiência produtiva e reprodutiva dos suínos (KNAP, 2005).

O uso de cruzamentos permite combinar características desejáveis de duas ou mais raças ou linhagens. Mas isso só é possível graças ao avanço do melhoramento genético nos últimos anos, com enfoque em melhorias na saúde (resistência às doenças e defeitos congênitos), na qualidade da carne, e nas características de produção (habilidade materna, conversão alimentar e taxa de crescimento). Dentre essas melhorias, os produtores e indústrias se voltam para três pontos principais: redução da gordura, melhoria da eficiência alimentar com favorecimento do crescimento do tecido magro e qualidade da carcaça (SANTOS, 2019).

Sendo assim, a competitividade da produção suína depende de avanço constante na produtividade, nas condições ambientais relacionadas ao manejo, com ênfase no bem-estar animal e na gestão do empreendimento. O aperfeiçoamento da produtividade é extensamente relacionado ao ganho genético, que se obtém via seleção de linhas puras, e ao vigor híbrido, o qual é proporcionado pelo cruzamento para formação de matrizes reprodutoras (DIAS *et al.*, 2011).

Em virtude das exigências ao atendimento às questões de bem-estar animal, torna-se necessário a utilização de equipamentos ou ações para a manutenção de um ambiente mais homogêneo e propício para o bom desenvolvimento e desempenho dos animais, principalmente em regiões com elevadas temperaturas, onde há uma constante ocorrência de situações de estresse térmico (SALES *et al.*, 2014). Pode-se esperar que no futuro, com todas as tecnologias disponíveis, os animais serão rústicos, adaptados a diferentes ambientes e saudáveis (MORMÈDE *et al.*, 2011). Para rusticidade, a seleção ocorrerá principalmente por animais que consigam manter altas taxas de crescimento mesmo sob condições de estresse por calor (RAUW *et al.*, 2017).

Nesse contexto de ambiente de criação e manejo, Carvalho e Viana (2011) destacam que os sistemas de criação de suínos também se diferenciam quanto ao manejo e podem ser classificados como sistema extensivo ou à solta; sistema semiextensivo; sistema intensivo de suínos criados ao ar livre (SISCAL) e sistema intensivo de suínos confinados (SISCON). Além disso, eles podem ser caracterizados como convencionais ou orgânicos.

Segundo Coelho (2015) a suinocultura é uma atividade predominantemente intensiva, com animais em sistema de confinamento, subdivididos de acordo com as fases de criação. Dentro de uma integração ou em ciclo completo de produção, os animais ficam em sítios específicos, em galpões, com distinção em fases de criação como: setor de reprodução, maternidade, creche, crescimento e terminação. Cada fase tem suas

particularidades em cuidados diários e específicos, com o intuito de evitar perdas produtivas e econômicas.

Associado as boas práticas, sistemas adequados e estrutura das instalações tem sido disseminado pelo Brasil, como o Programa Nacional de Sanidade Suídea (PNSS), coordenado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que estabelece os procedimentos a serem adotados na produção e na comercialização dos produtos de origem suína no país. Além do MAPA, as principais entidades responsáveis por regulamentar e fiscalizar a questão sanitária e da segurança dos alimentos são a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) (SANTOS, 2011).

Preocupações com o bem-estar dos animais de produção estão crescendo entre o público em geral (WOLF *et al.*, 2016). Com isso, a Organização Mundial de Saúde Animal (OIE) define, no "Código Sanitário para os Animais Terrestres", que o bem-estar animal se refere ao modo como o animal se ajusta às condições nas quais vive, definição que engloba os fatores comentados. De acordo com a OIE, o animal está em boas condições de bem-estar caso evidências científicas indiquem que ele se encontra saudável, confortável, bem nutrido, em segurança, capaz de expressar seu comportamento inato e isento de sensações desagradáveis como dor, medo ou angústia (OIE, 2017). O Brasil é signatário do código sanitário da OIE, assumindo, assim, o compromisso de cumpri-lo.

2 DESEMPENHO E ÍNDICES ZOOTÉCNICOS

A suinocultura industrial tem papel de grande importância na economia brasileira. O segmento teve considerado crescimento e sua produtividade tem sido acompanhada através de índices zootécnicos, indicadores que auxiliam no acompanhamento da atividade, dando maior aporte às tomadas de decisões, que são baseadas em sistemas de coleta de dados da criação de suínos (SANTOS *et al.*, 2014).

Nesse sistema de criação, as fases de crescimento e terminação são consideradas complexas e sujeitas a muitas variáveis, com grandes transformações nos índices de desempenho (SILVA; AGOSTINI; GASA, 2015). Fatores relacionados a manejo, nutrição, sanidade, genética e ambiência podem afetar o desempenho dos suínos do crescimento até o abate (HECK, 2009), o que torna importante, reconhece-los e possibilitar sua adequação de acordo com os interesses dos produtores, das indústrias ou das cooperativas do setor.

Um exemplo de manejo da instalação é o uso da cama sobreposta, que proporciona aos animais desempenho satisfatório, garantindo que estes alcancem o peso de abate rapidamente, como no sistema confinado convencional (GUIMARÃES *et al.*, 2011). De acordo com Oliveira (2004) este sistema se distingue dos demais por alojar suínos em baias com dimensões maiores do que no sistema confinado industrial, onde os animais permanecem sobre um leito composto por substrato.

Quanto aos indicadores zootécnicos, os suínos apresentam curvas características de consumo, crescimento corporal e crescimento dos diferentes tecidos, as quais variam entre genótipos e entre sexo (WHITTEMORE, 1996), sendo este último um fator que pode afetar as características de carcaça dos animais (BRAÑA *et al.*, 2013). Nesse aspecto, a capacidade de deposição de tecido magro que os suínos apresentam obedece à seguinte ordem decrescente: machos inteiros, fêmeas e machos castrados. Esta sequência é bastante considerada em outros países para a elaboração de dietas e para a otimização da nutrição de suínos em crescimento e terminação. Assim, a produção de suínos machos inteiros poderia ser interessante, pois, a categoria tem maior potencial fisiológico para síntese proteica e melhor eficiência alimentar (PAULY *et al.*, 2009).

Os hormônios sexuais parecem contribuir para as diferenças no metabolismo muscular proteico, uma vez que as diferenças entre machos castrados, machos não castrados e fêmeas são claras, tanto para as variáveis de desempenho (FONT-I-FURNOLS *et al.*, 2012; MORALES *et al.*, 2013; PULS *et al.*, 2014b) quanto de rendimento de carcaça (BOLER *et al.*, 2014; MORALES *et al.*, 2013; PULS *et al.*, 2014a). Assim, a criação de suínos com separação de sexos deve ser vista como estratégia que proporcione melhor desempenho aos animais, levando-se em consideração as exigências nutricionais a que lhes são atribuídas.

Para obtenção de suínos que proporcionem bom desempenho tem sido importante observar as diferentes linhagens comerciais disponíveis no mercado. Sendo necessário a obtenção de animais que apresentem um crescimento rápido, com redução no custo de produção, não só porque consomem menos ração em função do tempo, como também em função de sua capacidade de transformar alimentos em carne (BERTOL; LUDKE; BELLAVER, 2001).

A produtividade de unidades produtoras de suínos pode ser avaliada pela sua eficiência reprodutiva, que pode ser representada pelo número de leitões terminados por matriz ao ano, leitões nascidos vivos e partos por fêmea ao ano (MELLAGI *et al.*, 2010; MOREIRA *et al.*, 2014), que são formas de quantificar o desempenho da produção.

O melhoramento genético talvez seja o que represente a mais extraordinária mudança ocorrida na produção de suínos e o que mais contribuiu para o incremento na produtividade. De acordo com Koketsu, Tani e Lida (2017) o número de Porcos Desmamados por Porca e por ano (PWSY) aumentou de 20 para 30 porcos nas últimas três décadas, e é provável que a genética e o gerenciamento dessas matrizes possam aumentar o PWSY em até 30 a 40 porcos no futuro.

Em relação aos índices de produtividade, podem-se dividir os mesmos em três grandes grupos: i) índices reprodutivos, que englobam resultados da gestação, maternidade até o desmame; ii) índices de crescimento, que englobam a creche e terminação e todas as eventuais fases intermediárias entre o desmame e a venda dos animais produzidos; e, iii) índices do plantel, que se referem a uma visão macro da granja, sendo uma síntese dos demais (MACHADO, 2014).

Como índices de creche, crescimento e terminação, o autor destaca que existem parâmetros muito similares, sendo conversão alimentar (CA), ganho de peso diário (GPD) e taxas de mortalidade e descarte (MELZ; SEHNEM, 2016). Além dessas, ainda são levadas em consideração a taxa de desfrute, consumo de ração e eficiência produtiva.

3 INDICADORES BIOMÉTRICOS DE CRESCIMENTO DE SUÍNOS

O desenvolvimento corporal dos animais pode ser aferido por meio de medidas biométricas, podendo predizer com relativa precisão o peso corporal (PALHARES *et al.*, 2018). Para suínos essas equações ainda não se encontram bem estabelecida na literatura, principalmente para raças nativas (CRUZ, 2019).

O peso vivo dos suínos, assim como de todos os animais do nascimento à idade adulta, apresenta em geral, curva sigmoide, esse tipo de curva tem aspecto de crescimento exponencial ou sigmoidal (formato de “S”), que é modelado por regressão não linear (FERNANDES; PEREIRA; MUNIZ, 2012) na qual a taxa de crescimento aumenta até um ponto máximo de inflexão da curva, que corresponde ao peso corporal maduro do animal e em seguida diminui gradativamente (SHULL, 2013). É importante destacar que os tecidos evoluem ao longo da vida do suíno de maneira diferente.

O controle zootécnico é fundamental para o sucesso de qualquer cultura animal, sendo os dados de desempenho uma importante ferramenta para realizá-lo. Existe uma relação positiva entre as mensurações corporais e o peso dos animais, indicando a possibilidade de respostas correlacionadas serem utilizadas em programas de seleção (COSTA JÚNIOR *et al.*, 2006).

Estudos demonstraram forte correlação entre o peso vivo (PV) e determinadas medidas corporais, podendo ser utilizadas para estimar o PV dos animais no caso de não haver balança para pesagem (SOUZA *et al.*, 2007), já que as medidas corporais surgem como uma alternativa viável, pois, através delas é possível prever o peso corporal devido à alta correlação existente entre essas características (GUSMÃO FILHO *et al.*, 2009).

As medidas biométricas são utilizadas para diversos fins, por exemplo Oberlender *et al.* (2010) usaram as medições de biometria testicular e pesagem para avaliações de desenvolvimento dos testículos e ganho de peso diário (GPD) durante a fase pré-púbere.

Diversas metodologias utilizam medidas biométricas que podem ser consideradas, dependendo da finalidade. Vicente *et al.* (2006) descreveram 14 medidas biométricas distintas: comprimento da cabeça (medida desde a ponta do focinho até à protuberância occipital externa), comprimento da face (medida desde a ponta do focinho até à sutura fronto-nasal), largura da cabeça (medida entre as apófises zigomáticas temporal), altura à cernelha (medida desde o solo ao ponto mais alto do garrote), altura da garupa (medida desde o solo à tuberosidade ilíaca externa - ponta da anca), altura ao codilho (medida tomada desde o ponto do codilho ao solo), comprimento do corpo – diâmetro longitudinal (medido desde a ponta da espádua até à ponta da nádega), diâmetro do tronco – dorsoesternal – altura do tórax (medido da cernelha ao esterno logo atrás do codilho), largura do corpo – diâmetro bicostal (medido de um plano costal ao outro na altura dos codilhos), comprimento da garupa (medida desde a tuberosidade ilíaca externa (ponta da anca à ponta da nádega), perímetro torácico (medido desde a zona de maior declive do garrote passando pela base ventral do esterno), perímetro da canela (medido contornando o terço médio do metacarpo), largura da garupa (medida entre ambas as tuberosidades ilíacas externas), vazio subesternal (medida tomada do esterno ao solo).

Ao realizar um estudo na África com suínos, para predição de peso corporal, Walugembe (2017) considerou cinco medidas corporais: comprimento corporal, perímetro cardíaco, altura, largura corporal e flanquear. O comprimento do corpo e a circunferência do coração foram as medidas mais importantes ($R^2 = 0,88$) em todos os valores de peso corporal. Já Mutua *et al.*, (2011) utilizou apenas duas medidas biométricas: o comprimento e a circunferência do animal, ao desenvolver equações matemáticas para a estimativa do peso corporal e, atingiram 88 a 91% de precisão na predição.

4 SUINOCULTURA DE PRECISÃO

A pecuária de precisão é uma abordagem gerencial, que tem como finalidade melhorar os processos produtivos, diminuir os impactos ambientais, obter maior satisfação dos consumidores e conseqüentemente um melhor retorno econômico para os produtores rurais (BERNARDI *et al.*, 2014).

Dentro dela, a modernização da suinocultura exige esforços multidisciplinares para alcançar bons índices zootécnicos e, em conseqüência, resultados econômicos satisfatórios. Essa tendência persiste para os próximos anos, sustentada pelos investimentos em reformas de instalações no campo, pelas ampliações industriais e pela construção de novas granjas e modernas fábricas (PANDORFI; ALMEIDA; GUISELINI, 2012).

Denomina-se “Suinocultura de Precisão” parte da suinocultura, que emprega o uso da tecnologia da informação, sensores e atuadores para o registro de informações relacionadas ao sistema de produção e às interferências das variáveis ambientais nas unidades produtivas. Esta visa reduzir ou evitar perdas localizadas, o que propicia controle preciso sobre a utilização dos recursos envolvidos na cadeia produtiva. As tecnologias trazem soluções simples e eficientes para grandes problemas, relacionados com o ambiente, manejo de equipamentos e controle de rebanhos na produção industrial de suínos (PANDORFI *et al.*, 2005).

Mais recentemente tem-se empregado o termo Suinocultura 4.0, referindo-se à quarta revolução industrial, tratando-se da junção da automatização industrial com a tecnologia, utilizando ferramentas como internet das coisas, big data, cloud computing e sistemas cyber-físicos (LEAL *et al.*, 2018).

Como aplicação dessas tecnologias nas granjas de suínos, Nasirahmadi *et al.* (2016) desenvolveram um algoritmo de detecção de monta, através da análise de imagem, e obteve um alto nível de precisão. Já Song *et al.* (2018) relacionaram a largura do quadril, dias no leite e paridade de vacas leiteiras como sendo o melhor modelo testado nesse experimento para prever o peso corporal através de imagens 3D e medidas biométricas.

No âmbito do bem-estar animal, Borges *et al.* (2018) desenvolveram um sistema automatizado de baixo custo para monitorar e controlar o ambiente térmico de instalações suinícolas por meio de sensores conectados a um microcontrolador arduíno, a partir do qual foi possível acionar ventiladores e/ou nebulizadores para manter valores adequados de temperatura e umidade relativa do ar, em função das exigências do animal.

Pela visibilidade que vêm sendo dada às práticas de bem-estar, as granjas comerciais aplicam tecnologias em rastreabilidade e segurança dos alimentos, à exemplo

do estudo realizado por Trabachini (2013) que teve como objetivo a construção de um sistema de alimentação automático acionado através da identificação por rádio frequência, para processos de criação intensivos e extensivos.

Por definição, rastreabilidade é a capacidade de identificar a origem e seguir a movimentação de um produto específico durante as etapas de produção, distribuição e comercialização, visando dar garantias ao consumidor final a respeito de todas as etapas de fabricação e transporte do produto até a chegada em seu destino final (RESENDE-FILHO; HURLEY, 2012; ANDRADE *et al.*, 2013), sendo aplicada como ferramenta para auxiliar e evidenciar a segurança e a qualidade dos alimentos, bem como, para alcançar a confiança do consumidor (AUNG; CHANG, 2014).

Essas técnicas podem se mostrar interessantes e economicamente viáveis, sendo um passo importante para o desenvolvimento de sistemas automatizados que facilitem o gerenciamento da criação, apresentando baixo custo e alta eficiência.

5 AGROPECUÁRIA DIGITAL

A agropecuária 4.0, ou agropecuária digital são termos que estão sendo bastante abordados para tratar de assuntos referentes ao emprego da tecnologia da informação na cadeia de produção agropecuária, com o objetivo de melhorar processos e aprimorar a gestão dos negócios. Inúmeras iniciativas são percebidas neste ramo, desde customização de recursos financeiros ou agrônômicos, até ferramentas que auxiliam no maior controle de custos e eficiência.

Tendências globais e previsões para o planeta indicam que nos próximos 50 anos os principais desafios da humanidade serão energia, água, alimentos, ambiente e pobreza. A agricultura mundial encontra-se sob forte pressão para garantir a segurança alimentar e fornecer energia limpa de forma sustentável. O cenário global previsto é crítico: população mundial atingindo nove bilhões de habitantes em 2050; crescente escassez dos recursos terra e água; mudanças climáticas e eventos extremos; níveis de renda per capita e urbanização em crescimento ascendente e aumentos decrescentes de produtividade em alguns países (LOPES, 2013).

O mundo contemporâneo e globalizado remete todos a uma busca por uma economia mais sustentável e mais justa, onde a bioeconomia ganha força e visibilidade porque a sustentabilidade entrou definitivamente como uma das prioridades da sociedade.

Nesse contexto, em que o foco é a saúde, a qualidade de vida e o bem-estar, cada vez mais os avanços em Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) terão um caráter

estratégico e político para o Brasil e para o mundo conforme indicado por Massruhá, Leite e Moura (2014).

As TIC “[...] têm contribuído, a várias décadas, de forma impactante, para as diversas áreas de conhecimento, permitindo o armazenamento e processamento de grandes volumes de dados, automatização de processos e o intercâmbio de informações e de conhecimento. Seu grande potencial reside na sua transversalidade, podendo agregar valor e benefício para as diversas áreas de negócios, mercado, agricultura e meio ambiente.” (MASSRUHÁ; LEITE; MOURA, 2014, p.23).

A produção de energia metabólica dentro do animal não deve ser perdida através do estresse. Portanto, tendo como ênfase o bem-estar animal e sua dignidade (WATHES, 2010), pode-se melhorar a sustentabilidade do processo produtivo (BROOM, 2017).

Algumas das inovações mais recentes em TIC prometem alavancar as pesquisas na agricultura gerando novas aplicações, tais como: Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sistemas baseados em conhecimento, sistemas de suporte à decisão e modelos que são incorporados em novas tecnologias empregadas no campo. Dentre as aplicações no campo, pode-se destacar: sistema de irrigação inteligente, agricultura de precisão envolvendo a aplicação de inteligência embarcada, automação e rede de sensores locais para mapeamento de solos, monitoramento de doenças e de variáveis meteorológicas. Além dessas aplicações tem-se atividades de sensoriamento remoto visando obter mais dados sobre a produção e aspectos ambientais e climáticos (MASSRUHÁ; LEITE; MOURA, 2014).

A busca pela otimização no uso dos recursos naturais e insumos fará com que a fazenda do futuro seja massivamente monitorada e automatizada. Sensores dispersos e interligados a internet, por toda a propriedade, poderão gerar grandes volume de dados, variados e em rápida velocidade (Big Data), sendo armazenados (nuvem) e analisados, posteriormente. Essa nova realidade, em que tudo se encontra interligado, permitirá o fornecimento de uma abundância de serviços e aplicações, permitindo que usuários, máquinas, dados, aplicações e objetos do espaço físico interajam uns com os outros de forma autônoma e transparente, criando a chamada Internet das Coisas (MASSRUHÁ; LEITE, 2016).

A força de trabalho humana não será capaz de gerenciar essa quantidade de dados e necessitará de algoritmos cada vez mais aprimorados por meio de técnicas de inteligência computacional e computação cognitiva para auxiliá-los no processo de análise. Após a análise, o ciclo é fechado por meio de comandos remotos aos tratores e

implementos agrícolas que, munidos de GPS, farão intervenções pontuais apenas onde necessário para otimizar custo, produção e impacto no meio ambiente (MASSRUHÁ, 2015).

Tem-se a agricultura conectada permitindo que de casa, ou da sede da fazenda, produtores possam acompanhar remotamente, pelo computador, tablet ou smartphone, o desempenho de suas máquinas nas lavouras por telemetria, a transmissão automática de dados via sinal de telefonia celular (CIGANA, 2016).

6 MONITORAMENTO DO PESO VIVO E A AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS

Existe uma crescente tendência da sociedade brasileira e dos mercados importadores em requerer padrões mínimos de bem-estar animal nas cadeias produtivas. Para atender essa exigência, novos métodos e tecnologias nas granjas suinícolas deverão ser desenvolvidos, incluindo a automação dos sistemas em todas as fases da produção (BORGES *et al.*, 2018). Sabendo que mais de 80% dos estabelecimentos agropecuários baseiam-se na agricultura familiar (CONAB, 2017), é importante que o desenvolvimento dessas tecnologias para automação seja de baixo custo, para viabilizar a sua aplicação no campo.

Para conciliar as forças do mercado com a necessidade de cuidados individuais dos animais, os agricultores podem usar ferramentas automáticas para monitorar seu bem-estar e saúde (SCHÖN; PUPPE; MANTEUFEL, 2004). A utilização dessas ferramentas pode ser feita para auxiliar na detecção de desvios de comportamento natural como indicativo de agentes estressores no ambiente de criação, por meio de análise comportamental através de imagens, evitando comprometer a qualidade da produção (ANIL; ANIL; DEEN, 2002), na classificação de tipos de locomoção (ESCALANTE *et al.*, 2013), no monitoramento para partos de porcas (CORNOU; LUNDBYE-CHRISTENSEN; KRISTENSEN, 2011), entre outros.

Na tentativa de levar tecnologia de informação ao homem do campo, de forma crescente e cada vez mais acessível, o advento das plataformas de prototipagem eletrônica de baixo custo com o nome comercial de arduino, tem possibilitado a automação de diversos processos e sistemas no setor agropecuário. Essas plataformas possuem projetos de código livre e foram desenvolvidas na Itália utilizando microcontroladores da Atmel (MCROBERTS, 2011; PENIDO, 2017).

Dentre as várias tecnologias aplicadas a automatização da produção existem métodos para estimar o tamanho do animal, que são tipicamente expressos como o peso

do animal, sendo amplamente estudados e aplicados. Os métodos tradicionais são realizados por olho e mão, com base na opinião pessoal do comprador ou do criador (WU *et al.*, 2004) ou através da pesagem direta do animal.

Um dos métodos mais estudados têm sido a abordagem de medição corporal. As medidas do corpo de um animal foram usadas para distinguir variações em tamanhos e formas de animais (LANARI *et al.*, 2003; SALAKO, 2006) e também para estimar seus pesos vivos (MENESATTI *et al.*, 2014; MOLLAH *et al.*, 2010; POPE; MOORE, 2002; SCHOFIELD *et al.*, 1999; SLIPPERS; LETTY; DE VILLIERS, 2000; TASDEMIR; URKMEZ; INAL, 2011; TOPAI; MACIT, 2004)

Embora o processo de pesagem direta forneça o resultado mais preciso, envolve uma tarefa incômoda e demorada (BRANDL; JORGENSEN, 1996) e pode causar lesões e estresse aos animais e aos criadores ao forçar o animal na balança. Não apenas a pesagem direta de animais na escala do solo, mas também vários métodos de medição corporal que exigem contato direto com o corpo do animal, como medir a cintura de um suíno atrás das pernas dianteiras (POPE; MOORE, 2002), podem causar eventos perigosos por causa do estresse causado ao animal durante o processo de forçá-lo a se posicionar para uma medida precisa (TASDEMIR; URKMEZ; INAL, 2011).

Para evitar o contato direto com os animais, métodos baseados em imagens digitais têm sido aplicados para determinar pesos vivos e acompanhar o crescimento de vários animais, como suínos (BRANDL; JORGENSEN, 1996; PARSONS *et al.*, 2007; PASTORELLI *et al.*, 2006; WANG *et al.*, 2008) e frangos (MOLLAH *et al.*, 2010) e bovinos (MENESATTI *et al.*, 2014; TASDEMIR; URKMEZ; INAL, 2011). As imagens de vista superior e lateral dos animais foram usadas principalmente para extrair características, como a área projetada e o perímetro (WANG *et al.*, 2008), afim de encontrar a correlação das características de uma imagem e o peso vivo de um suíno.

Rotineiramente, as vacas leiteiras são pesadas com balanças automatizadas (ALAWNEH *et al.*, 2011). Tais escalas, no entanto, são relativamente caras e seus componentes eletrônicos são propensos a danos no ambiente hostil coberto com esterco e urina e em contato direto com os animais (DICKINSON *et al.*, 2013). Por isso, existe à necessidade de um sistema de pesagem automatizado robusto e de baixo custo.

De acordo com Song *et al.* (2018) apesar de terem obtido resultados similares aos dos métodos convencionais, mais importante do que a qualidade da medição automatizada e as características morfológicas é o modelo de predição e a associação dessas características de forma a tornar o modelo robusto.

7 VISÃO COMPUTACIONAL NA AGROPECUÁRIA

Denomina-se visão computacional como uma tecnologia e ciência em uma área multidisciplinar, em que o objetivo geral é o reconhecimento avançado de imagens através do desenvolvimento de ferramentas que compreendam certos cenários ou características de seus contextos. Esse campo tecnológico contribui no desenvolvimento de sistemas artificiais para generalidade de informações multidimensionais (RODRIGUES, 2015).

Através do processo prático da aplicação da visão computacional de dados contidos em imagens, Reis (2014) afirma que na Visão Computacional o input são as imagens e através de seu processamento, toma-se como output modelos matemáticos, ou seja, um agrupamento de técnicas e métodos nos quais se torna possível a interpretação de uma imagem, emulando a visão humana.

Sobre as diversas aplicações da visão computacional na agropecuária se tem a introdução de um sistema de rastreamento automático para identificar os comportamentos locomotores do suíno (LIND *et al.*, 2005). A viabilidade da moderna tecnologia de câmeras 3D na estimativa do peso dos animais (CONDOTTA *et al.*, 2018). A efetividade da análise de imagens para detectar o desgaste físico dos joelhos das vacas foi avaliada por Guo, He e Song (2018), enquanto, Meunier *et al.* (2018) demonstraram como a análise de imagens pode ser usada para refinar medições de localização de vacas determinadas por sistemas de localização em tempo real, Ahrendt, Gregersen e Karstoft (2011) fizeram o mesmo para suínos.

Ainda tem uma nova aplicação de determinar sexo, idade e sofrimento, automaticamente, a partir de características de sinal sonoro (CORDEIRO *et al.*, 2018). E finalmente, Besteiro *et al.* (2018) mostram que a atividade dos leitões pode ser efetivamente monitorada usando detectores infravermelhos passivos, com a análise mostrando os principais momentos do pico de atividade.

Técnicas de visão computacional são usadas atualmente para medir características morfológicas de vacas leiteiras, através da visão 2D, visão térmica (STAJNKO; BRUS; HOČEVAR, 2008), visão estéreo usando múltiplas câmeras 2D calibradas (TASDEMIR; URKMEZ; INAL, 2011) e visão tridimensional (3D) usando uma ou múltiplas câmeras (MARINELLO *et al.*, 2015; SALAU *et al.*, 2016), além da automatização da mensuração de traços morfológicos, tipicamente medidos manualmente, como a circunferência do coração, altura do animal, largura do quadril (MARINELLO *et al.*, 2015; TASDEMIR;

URKMEZ; INAL, 2011), processos que quando realizados de forma manual podem ser estressantes para os animais (DICKINSON *et al.*, 2013).

Ribeiro, Guedes e Barbieri (2019) desenvolveram um programa que aplica algoritmos de Visão Computacional na contagem de gado por meio de imagens aéreas coletadas em bancos de imagens públicas, enquanto Lopes (2019) utilizou a mesma ferramenta e concluiu que o algoritmo desenvolvido foi capaz de identificar as aves do restante da imagem por meio do processamento digital das imagens, podendo ser aplicado em sistemas de visão computacional para estimar o conforto térmico de um grupo de galinhas poedeiras.

8 ESTIMATIVA DO PESO VIVO DE ANIMAIS DE PRODUÇÃO POR MEIO DA VISÃO COMPUTACIONAL

A pecuária de precisão auxilia na resolução de problemas dentro dos sistemas de produção, além de implementar ferramentas que proporcionem a sustentabilidade por meio da promoção do bem-estar dos animais durante todo o ciclo produtivo. É caracterizada como “manejo animal individual através do monitoramento contínuo em tempo real da saúde, bem-estar, produção/reprodução e impacto ambiental” (BERCKMANS, 2017).

O uso de ferramentas de precisão pode agregar valor para a avaliação do bem-estar dos animais, pois permite o rastreamento individual e/ou de grupos (FRASER *et al.*, 1997), evita procedimentos estressantes relacionados ao manejo do animal durante avaliações (por exemplo, o uso de câmeras para medições de peso corporal, em vez de pesagem manual) (VELARDE *et al.*, 2009).

Diante disso, câmeras e outros sensores são utilizados para estimar o peso vivo dos animais sem que haja intervenção humana direta, evitando perdas ocasionadas pelo estresse, bem como, a presença de marcas na carcaça dos animais em decorrência do processo de pesagem convencional, que pode acarretar além da perda de tempo, baixa qualidade do produto.

A análise digital de imagem e os métodos de visão de máquina permitem a estimativa em tempo real de peso vivo do suíno detectando as dimensões corporais críticas do animal sem qualquer contato (LI *et al.*, 2014), além desses métodos sem contato serem populares na pecuária de precisão e utilizarem técnicas de visão computacional, provaram sucesso em aplicações de campo (ZONG *et al.*, 2018).

O uso de câmeras é uma abordagem muito utilizada que mostra eficiência ao longo da aplicação de novas técnicas e refinamentos dos processos de captura e processamento das imagens. Os valores do coeficiente de determinação encontrados por pesquisadores da área em estudos com a mesma finalidade costumam apresentar-se entre 0,92 e 0,99 (CONDOTTA *et al.*, 2018; FERNANDES *et al.*, 2019; KONGSRO, 2014; LI *et al.*, 2022; MA *et al.*, 2020).

Wang *et al.* (2018) utilizaram duas câmeras de profundidade para obter o tamanho corporal de suínos com erros entre 5 e 10%, em abordagens semelhantes para estimativa de peso vivo de suínos por meio de câmera Kinect, que permite a obtenção de imagens em 3D, para determinação do peso vivo de suínos com base no volume corporal com valor do coeficiente de determinação R^2 tão alto quanto 0,9931 (SHI; TENG; LI, 2016).

Buayai *et al.* (2019) utilizaram câmeras convencionais para capturar imagens 2D e processaram-nas através de visão de máquina obtendo um erro médio absoluto de 2,84%, e um curto tempo de treinamento do modelo de aproximadamente 5 segundos, já Kashiha *et al.* (2014b), obtiveram o peso individual de suínos através de imagens de câmera de vídeo com uma precisão de 96,2% (erro de 1,23 kg). Em perspectivas mais recentes Cang e Qyao (2019) utilizaram redes neurais para realizar simultaneamente reconhecimento, localização e estimativa de pesos de suínos.

Dentre as abordagens baseadas na captura de imagem Wongsriworaphon, Arnonkijpanich e Pathumnakul (2015), focaram em um algoritmo de aprendizado supervisionado conhecido como memória associativa temporal quantizada por vetor (VQTAM) que apresentou a previsão mais precisa com uma taxa de erro inferior a 3% em média. Khamjan, Piewthongngam e Pathumnakul (2013) usaram um algoritmo heurístico para obter a distribuição de tamanho e crescimento do suíno.

Ao estimar o peso dos suínos através da ingestão de alimento He *et al.* (2021) fizeram uso de algoritmos de aprendizagem de máquina obtendo a maior precisão igual a 0,89, também aproveitando as áreas de comedouro e bebedouro Guo *et al.* (2015) utilizaram segmentação por limiarização multinível aplicado a grandezas relacionadas, como reconhecimento individual ou estimativa de peso e obtiveram uma taxa média de detecção de 92,5%.

A problemática da pesagem convencional é uma realidade em todos os sistemas pecuários, com o aumento do tamanho das fazendas e a necessidade de aumentar a produtividade, os agricultores enfrentam o desafio de gerenciar com eficiência mais animais. Isso aumenta a demanda por ferramentas automatizadas para monitorar o

crescimento animal e saúde, provocando várias pesquisas com os mais diferentes animais e as mais variadas técnicas e ferramentas de aplicação.

Procedimentos de visão de máquina e rede neural artificial (RNA) foram usados para estimar o peso vivo de frangos de corte em 30 frangos de corte de 1 dia criados por 42 dias através do qual obtiveram um R^2 de 0,98 na melhor rede testada (AMRAEI; ABDANAN MEHDIZADEH; SALARI, 2017; MORTENSEN; LISOUSKI; AHRENDT, 2016), também utilizaram sistemas de visão computacional e câmera 3D Kinect para estimativa do peso de frangos de corte. O peso de bovinos foi estimado através de imagens de câmera digital e posteriormente analisadas por um software obteve R^2 de 88,7% (OZKAYA *et al.*, 2015).

9 ANÁLISE DE IMAGEM

Existem etapas dentro do sistema de produção de suínos que se tornam estressantes e acabam gerando malefícios para o produtor e para os animais, uma delas é o controle do peso vivo durante as fases de criação. Como solução, técnicas de processamento de imagem têm sido cada vez mais aplicadas ao manejo de fazendas de suínos nos últimos anos e diferentes estudos têm sido realizados sobre o desenvolvimento de ferramentas de visão computacional para a produção de suínos.

A maioria dos métodos baseados em imagem digital para estimar o peso vivo de um suíno, exige que ele esteja em uma posição apropriada e bem estacionário (WANG *et al.*, 2008). Esse requisito não é prático em uma fazenda, porque é difícil induzir o animal à uma posição necessária e mantê-lo parado. Alguns estudos anteriores procuraram desenvolver métodos para medir o peso vivo de um suíno enquanto ele se movia normalmente e evitar a necessidade de uma posição fixa sem movimento, como nos estudos de Schofield *et al.* (1999) e Wang *et al.* (2008), em que são abordadas duas formas de análise distintas, em que os primeiros obtiveram as imagens quando os animais estavam na área de alimentação/comedouros, já os outros permitiram que os animais atravessassem de uma baia para outra fazendo a captura do percurso da caminhada por meio de câmera de vídeo empregando a abordagem de rede neural artificial. Contudo, essas técnicas necessitam de maior recurso computacional.

É claro que a precisão da estimativa do peso vivo do suíno depende da qualidade das imagens digitais e da eficiência do processo de segmentação de imagens. Diferentes estudos tentaram introduzir uma variedade de técnicas de segmentação de imagens, mas continua sendo difícil obter boas soluções (ILEA; WHELAN, 2011; MINAGAWA,

SAITO; ICHIKAWA, 2011).

A maioria das técnicas de processamento de imagens que foram usadas para estimar o peso vivo do animal, na prática, tem duas limitações principais. Primeiro, as imagens devem ser feitas de suínos individuais; segundo, é necessário fornecer um ambiente adequado, como um fundo contrastante, para distinguir o corpo do porco do ambiente. Essas duas restrições parecem impraticáveis em uma operação agrícola.

Uma alternativa a esse entrave são as imagens tiradas em visão 3D, em contraste com a visão em 2D, que mostram clara diferença de profundidade entre o animal e o fundo. Essa diferença pode simplificar significativamente a segmentação de segundo plano (ROSELL-POLO *et al.*, 2015). Além disso, as imagens tiradas em visão tridimensional, incluem informações de profundidade na superfície do corpo, enquanto imagens bidimensionais e térmicas incluem apenas informações de contorno corporal e área transversal.

Portanto, trata-se de métodos mais avançados de captura de imagem, a fim de melhorar o bem-estar animal e monitorar o seu desempenho. Um sistema de análise de movimento optoeletrônico, Vicon 3D, e um sensor de movimento, Kinect, foram usados para a detecção de leitões (STAVRAKAKIS *et al.*, 2015) e o método proposto pode distinguir o som de porcos coxos.

A análise de imagem pode ser empregada de forma eficiente para várias finalidades, como Kashiha *et al.* (2013), que ao usarem uma câmera CCD, obtiveram a estimativa automática da quantidade de uso de água dos porcos com uma precisão de 92%, com base nas distâncias da cabeça dos bebedouros nas imagens. Já Gronskyte *et al.* (2015) monitoraram os rebanhos de suínos usando o método de fluxo óptico para a obtenção de eventos indesejáveis no matadouro, com alta sensibilidade e especificidade.

A fim de identificar comportamentos agressivos entre suínos, características de histórico de movimento foram aplicadas (VIAZZI *et al.*, 2014) resultando em uma alta precisão e sensibilidade geral. Conforto térmico e padrões mentais de grupos de suínos foram investigados com um alto grau de precisão pela aplicação de técnicas de processamento de imagens (COSTA *et al.*, 2014; NASIRAHMADI *et al.*, 2015; PANDORFI; SILVA; AGOSTINI; GASA, 2015; SHAO; XIN, 2008). Já Lu *et al.* (2016) propôs a contagem automática de leitões através do ajuste de elipses em processamento de imagens, obtendo uma precisão de 86%.

Além disso, a espessura de gordura subcutânea de vacas Holstein-Friesian também foi estimada usando uma câmera time-to-flight (WEBER *et al.*, 2014), enquanto

Silva *et al.* (2019) utilizaram a análise de imagem associada a geoestatística para identificar com sucesso a dependência espacial da temperatura de superfície do úbere, facilitando o diagnóstico de mastite em vacas.

REFERÊNCIAS

AHRENDT, Peter; GREGERSEN, Torben; KARSTOFT, Henrik. Development of a real-time computer vision system for tracking loose-housed pigs. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 76, n. 2, p. 169-174, 2011.

ALAWNEH, John Ibrahim.; STEVENSON, M. A.; WILLIAMSON, Norman Bruce; LOPEZ-VILLALOBOS, Nicolas; OTLEY, T. Automatic recording of daily walkover liveweight of dairy cattle at pasture in the first 100 days in milk. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 9, p. 4431-4440, Sept. 2011.

AMRAEI, Somaye; ABDANAN MEHDIZADEH, Saman; SALARI, S. Broiler weight estimation based on machine vision and artificial neural network. **British Poultry Science**, London, v. 58, n. 2, p. 200–205, 2017.

ANIL, Sukumarannair S.; ANIL, Leena; DEEN, John. Challenges of pain assessment in domestic animals. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, Schaumburg, v. 220, n. 3, p. 313-319, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **Relatório anual 2022**. [São Paulo], 2022. 144 p. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2022/05/Relatorio-Anual-ABPA-2022-1.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.

AUNG, Myo Min; CHANG, Yoon Seok. Traceability in a food supply chain: safety and quality perspectives. **Food Control**, Guildford, v. 39, p. 172-184, 2014.

BERCKMANS, Daniel. General introduction to precision livestock farming. **Animal Frontiers**, Oxford, v. 7, n. 1, p. 6-11, 2017.

BERNARDI, Antonio Carlos de Campos; NAIME, João de Mendonça; RESENDE, Álvaro Vilela de; BASSOI, Luis Henrique; INAMASU, Ricardo Yassushi (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2014.

BERTOL, Teresinha Marisa; LUDKE, Jorge Vítor; BELLAVAR, Cláudio. Efeito do peso do suíno em terminação ao início da restrição alimentar sobre o desempenho e a qualidade da carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 417-424, 2001.

BESTEIRO, Roberto; ARANGO LOPEZ, Tamara; RODRÍGUEZ, Manuel Ramiro; FERNÁNDEZ, María Dolores; VELO, Ramón. Estimation of patterns in weaned piglets' activity using spectral analysis. **Biosystems Engineering**, London, v. 173, p. 85-92, 2018.

BOLER, D. D.; MCKEITH, Floyd K.; PULS, Christopher L.; ELLIS, Mike; WOOD-FOLLIS, S. L.; MILLER, R. W.; VANIMISSETTI, Hima Bindu; MOSELEY, William M.; SCHROEDER, Aubrey L.; DILGER, Anna Carol. Effects of generic ractopamine (Engain) on the growth performance, carcass characteristics, meat quality, and cutability of finishing barrows and gilts. **The Professional Animal Scientist**, [Amsterdam], v. 30, n. 6, p. 625-636, 2014.

BORGES, Pedro Hurtado de Mendonza; MENDOZA, Zaíra Morais dos Santos Hurtado; MORAIS, Pedro Hurtado de Mendonza; SANTOS, Ronei Lopes dos. Sistema automatizado de baixo custo para produtores rurais: controle e monitoramento do ambiente térmico na suinocultura. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 4, n. 2, p. 177-199, 2018.

BRAÑA, Diego V.; ROJO-GÓMEZ, G. A.; ELLIS, Mike; CUARON, J. A. Effect of gender (gilt and surgically and immunocastrated male) and ractopamine hydrochloride supplementation on growth performance, carcass, and pork quality characteristics of finishing pigs under commercial conditions. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 12, p. 5894-5904, 2013.

BRANDL, Nabil; JØRGENSEN, Erik. Determination of live weight of pigs from dimensions measured using image analysis system for tracking loose-housed pigs. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 15, n. 1, p. 57-72, 1996.

BROOM, Donald M. **Animal welfare in the European Union**. Brussels: Policy Department for Citizens' Rights and Constitutional Affairs, 2017.

Disponível em:
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/583114/IPOL_STU\(2017\)583114_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/583114/IPOL_STU(2017)583114_EN.pdf). Acesso em: 28 abr. 2022.

BUAYAI, Prawit; PIEWTHONGNGAM, Kullapapruk; LEUNG, Carson K.; SAIKAEW, Kanda Runapongsa. Semi-automatic pig weight estimation using digital image analysis. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 35, n. 4, p. 521-534, 2019.

CANG, Yan; HE, Hengxiang; QIAO, Yulong. An intelligent pig weights estimate method based on deep learning in sow stall environments. **IEEE Access**, v. 7, p. 164867-164875, 2019. Disponível em:
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8896840>. Acesso em: 22 maio 2021.

CARVALHO, Pedro Luiz Costa; VIANA, Eduardo de Faria. Suinocultura SISCAL e SISCON: análise e comparação dos custos de produção. **Custos e Agronegócio Online**, v. 7, n. 3, p. 2-20, set./dez. 2011. Disponível em:
<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero3v7/suinocultura.pdf>. Acesso em: 14 out. 2019.

CIGANA, Caio. Agricultura 4.0 é nova fronteira no campo. **GZH**, Porto Alegre, set. 2016. Disponível em: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/campo-e-lavoura/noticia/2016/09/agricultura-4-0-e-nova-fronteira-no-campo-7413654.html#>. Acesso em: 20 set. 2016.

COELHO, Carolina Freiberger. **Causas de mortalidade em leitões lactentes na**

maternidade. 2015. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/159994/CAROLINA%20FREIBERGER%20COELHO_2015.2.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 24 de ago. 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Agricultura familiar**. Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/agricultura-familiar>. Acesso em: 12 dez. 2017.

CONDOTTA, Isabella C.; BROWN-BRANDL, Tami M.; SILVA-MIRANDA, Késia Oliveira da; STINN, John P. Evaluation of a depth sensor for mass estimation of growing and finishing pigs. **Biosystems Engineering**, London, v. 173, p. 11-18, 2018.

CORDEIRO, Alexandra. Ferreira da Silva; NÄÄS, Irenilza de Alencar.; LEITAO, Felipe da Silva; ALMEIDA, Andréia C. M.; MOURA, Daniella Jorge de. Use of vocalisation to identify sex, age, and distress in pig production. **Biosystems Engineering**, London, v. 173, p. 57-63, 2018.

CORNOU, Cécile; LUNDBYE-CHRISTENSEN, Soren; KRISTENSEN, Anders Ringgaard. Modelling and monitoring sows' activity types in farrowing house using acceleration data. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 76, n. 2, p. 316-324, 2011.

COSTA, Annamaria; ISMAYILOVA, Gunel; BORGONOVO, Frederica; VIAZZI, Stefano; BERCKMANS, Daniel; GUARINO, Marcela. Image-processing technique to measure pig activity in response to climatic variation in a pig barn. **Animal Production Science**, Melbourne, v. 54, n. 8, p. 1075-1083, 2014.

COSTA JÚNIOR, Gregório da Silva; CAMPELO, José Elivalto Guimarães; AZEVÊDO, Danielle Maria Machado Ribeiro; MARTINS FILHO, Raimudo; CAVALCANTE, Rildênio Renato; LOPES, João Batista; OLIVEIRA, Maria Elizabete de. Caracterização morfométrica de ovinos da raça Santa Inês criados nas microrregiões de Teresina e Campo Maior, Piauí. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2260-2267, 2006.

CRUZ, Matheus Santana da. **Estimativa de peso vivo por meio de medidas corporais de suínos de raças nativas**. 2019. 19 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

DAWKINS, Marian Stamp. Animal welfare and efficient farming: is conflict inevitable? **Animal Production Science**, Melbourne, v. 57, n. 2, p. 201-208, 2017.

DIAS, Alexandre César; CARRARO, Bruno Zinato; DALLANORA, Djane; COSER, Fabiano José; MACHADO, Gauber S.; MACHADO, Iuri P.; PINHEIRO, Ronie; ROHR, Stefan A. **Manual brasileiro de boas práticas agropecuárias na produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. 140 p.

DICKINSON, R. A.; MORTON, John M.; BEGGS, David. S.; ANDERSON, G. A.;

PYMAN, Michael F.; MANSELL, Peter D.; BLACKWOOD, Charlie. B. An automated walk-over weighing system as a tool for measuring live- weight change in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 96, n. 7, p. 4477-4486, 2013.

ESCALANTE, Hugo Jair; RODRIGUEZ, Sara V.; CORDERO, Jorge; KRISTENSEN, Anders Rinnggaard; CORNOU, Cécile. Sow-activity classification from acceleration patterns: a machine learning approach. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 93, p. 17-26, 2013.

FERNANDES, Arthur F.; DÓREIA, João R.; FITZGERALD, Robert; HERRING, William; ROSA, Guilherme J. M. A novel automated system to acquire biometric and morphological measurements and predict body weight of pigs via 3D computer vision. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 97, n. 1, p. 496-508, 2019.

FERNANDES, Teles Jesus; PEREIRA, Adriele Aparecida; MUNIZ, Joel Augusto. Comparação de modelos não lineares no estudo das curvas de crescimento do caranguejo de água doce. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, Ouro Preto, v. 2, p. 245-248, 2012.

FONT-I-FURNOLS, Maria; GISPERT, Marina; SOLER, J.; DIAZ, M.; GARCIA-REGUEIRO, J. A.; DIAZ, Izabel; PEARCE, M. C. Effect of vaccination against gonadotrophin-releasing factor on growth performance, carcass, meat and fat quality of male Duroc pigs for dry-cured ham production. **Meat Science**, Barking, v. 91, n. 2, p. 148-154, 2012.

FRASER, D.; WEARY, Daniel M.; PAJOR, Ewa A.; MILLIGAN, B. N. A scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns. **Animal Welfare**, Washington, v. 6, p. 187-205, 1997.

GRANDIN, Templo. Animal welfare and society concerns finding the missing link. **Meat Science**, Barking, v. 98, n. 3, p. 461-469, 2014.

GRONSKYTE, Ruta; CLEMMENSEN, L. H.; HVIID, M. S.; KULAHCI, M. Pig herd monitoring and undesirable tripping and stepping prevention. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 119, p. 51-60, 2015.

GUIMARÃES, G. G.; MURATA, L. S.; MCMANUS, Concepta; SANTANA, Anegeia Patricia; RECKZIEGEL, G. C.; AMÂNCIO, A. S.; SOBRINHO, A. J. F. Desempenho de suínos de dois cruzamentos de linhagens comerciais criados em cama sobreposta. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 60, n. 229, p. 11-18, 2011.

GUO, Hao; MA, Xiao Dong.; MA, Qin; WANG, Ke.; SU, Wei; ZHU, De Hai. LSSA_CAU: an interactive 3d point clouds analysis software for body measurement of livestock with similar forms of cows or pigs. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 138, p. 60-68, 2017.

GUO, Yangyang; HE, Dongjian; SONG, Huaibo. Region detection of lesion area of knee based on colour edge detection and bilateral projection. **Biosystems Engineering**, London, v. 173, p. 19-31, 2018.

GUO, Yi-Zheng; ZHU, Wei-Xing; JIAO, Peng-Peng; MA, Chang-Hua; YANG, Jian-Jun. Multi-object extraction from topview group-housed pig images based on adaptive partitioning and multilevel thresholding segmentation. **Biosystems Engineering**, London, v. 135, p. 54–60, 2015.

GUSMÃO FILHO, J. D.; TEODORO, Sônia Martins; CHAVES, Modesto Antonio; OLIVEIRA, S. S. Análise fatorial de medidas morfométricas em ovinos tipo Santa Inês. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 222, p. 289-292, 2009.

HECK, Augusto. Fatores que influenciam o desenvolvimento dos leitões na recria e terminação. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 37, p. s211-s218, 2009. Supplement 1.

ILEA, Dana Elena; WHELAN, Paul F. Image segmentation based on the integration of colour–texture descriptors: a review. **Pattern Recognition**, Oxford, v. 44, n. 10/11, p. 2479-2501, 2011.

JUN, Kyungkoo; KIM, Si Jung; JI, Hyun Wook. Estimating pig weights from images without constraint on posture and illumination. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 153, p. 169-176, 2018.

KASHIHA, Mohammdamin; BAHR, Claudia; HAREDasHT, Sara Amirpour; OTT, Sanne; MOONS, Christel Palmyre Henri; NIEWOLD, Theo A.; ÖDBERG, Frank O.; BERCKMANS, Daniel. The automatic monitoring of pigs water use by cameras. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 90, p. 164-169, 2013.

KASHIHA, Mohammdamin; BAHR, Claudia; OTT, Sanne; MOONS, Christel Palmyre Henri; NIEWOLD, Theo A.; ÖDBERG, Frank O.; BERCKMANS, Daniel. Automatic weight estimation of individual pigs using image analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 107, p. 38-44, 2014a.

KASHIHA, Mohammdamin.; BAHR, Claudia; OTT, Sanne; MOONS, Christel Palmyre Henri; NIEWOLD, Theo A.; ÖDBERG, Frank O.; BERCKMANS, Daniel. Weight estimation of pigs using top-view image processing. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE IMAGE ANALYSIS AND RECOGNITION*, 11., 2014, Vilamoura. **Image analysis and recognition: proceedings ...** Cham: Springer, 2014b. p. 496–503. Disponível em: <https://dblp.org/db/conf/iciar/iciar2014-2.html>. Acesso em: 20 out. 2019.

KHAMJAN, S.; PIEWTHONGNGAM, Kullapapruk; PATHUMNAKUL, S. Pig procurement plan considering pig growth and size distribution. **Computers & Industrial Engineering**, New York, v. 64, n. 4, p. 886–894, 2013.

KNAP, Pieter W. Breeding robust pigs. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 45, n. 8, p. 763-773, 2005.

KOKETSU, Yuso; TANI, Satomi; LIDA, Ryosuke. Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. **Porcine Health Management**, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2017.

KOLLIS, K.; PHANG, C. S.; BANHAZI, T. M.; SEARLE, S. J. Weight estimation using image analysis and statistical modelling: a preliminary study. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 23, n. 1, p. 91-96, 2007.

KONGSRO, J. Estimation of pig weight using a microsoft kinect prototype imaging system. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 109, p. 32-35, 2014.

KUZUHARA, Yukako; KAWAMURA, Kensuke; YOSHITOSHI, Rena; TAMAKI, Toru; SUGAI, Shun; IKEGAMI, Mai; KUROKAWA, Yuzo; OBITSU, Taketo; OKITA, Miki; SUGINO, Toshihisa; YASUDA, Taisuke. 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**, New York, v. 111, p. 186-193, 2015.

LANARI, Maria Rosa; TADDEO, Hector; DOMINGO, Ernesto; PÉREZ CENTENO, Marcelo; GALLO, Leonardo. Phenotypic differentiation of exterior traits in local Criollo goat population in Patagonia (Argentina). **Archives Animal Breeding**, Dummerstorf, v. 46, n. 4, p. 347-356, 2003.

LEAL, Diego Feitosa; GAMEIRO, Augusto Hauber; MURO, Bruno B.; DUTRA, Mauricio Cabral; CARNEVALE, Rafaella Frnandes; GARBOSSA, Cesar Augusto Pospissil. Diagnóstico situacional dos atuais gargalos da suinocultura brasileira. *In*: BALIEIRO, Julio Cesar de Carvalho; GAMEIRO, Augusto Hauber; PEREIRA, Angélica Simone Cravo; RODRIGUES, Paulo Henrique Mazza; GARBOSSA, Cesar Augusto Pospissil; BRUNETTO, Marcio Antonio; VENTURA, Ricardo Vieira (Org.). **Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal**. Pirassununga: Ed. 5D, 2018. Cap. VI, p. 109-122. Pesquisa desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal do Departamento de Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo.

LIND, Nanna M.; VINTHER, Miguel; HEMMINGSEN, Ralf P.; HANSEN, Axel K. Validation of a digital video tracking system for recording pig locomotor behaviour. **Journal of Neuroscience Methods**, Amsterdam, v. 143, n. 2, p. 123-132, 2005.

LOPES, Francisco Augusto Alves. **Visão computacional para estimativa de comportamento de aglomeração de galinhas poedeiras**. 2019. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) - Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Tupã, 2019.

LOPES, Maurício Antônio. **Sistema de inteligência estratégica para a agropecuária brasileira**. Brasília: EMBRAPA, 2013. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/acamara/altosestudos/pdf/apresentacao-mauricio-lobes-2a-reuniao-cesdes>. Acesso em: 18 out. 2016.

LU, Mingzhou; XIONG, Yingjun; LI, Kunquan; LIU, Longshen; YAN, Li; DING, Yongqian; LIN, Xiangze; YANG, Xiaojing; SHEN, Mingxia. An automatic splitting method for the adhesive piglets' gray scale image based on the ellipse shape feature. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 120, p. 53-62, 2016.

MA, Yafang; CHEN, Xin; ZHANG, Wenxin; ZHENG, Lihua; GAO, Wanlin; WANG, Minjuan. An approach of on-barn pig weight estimation via 3D computer vision by kinect V2. *In: ANNUAL INTERNATIONAL VIRTUAL MEETING, 2020, St. Joseph. Proceedings ...* St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2020. Paper # 2000400.

MACHADO, Iuri Pinheiro. Índices zootécnicos e sistema de gerenciamento na produção de suínos. *In: FERREIRA, Adilson Hélio; CARRARO, Bruno; DALLANORA, Djane; MACHADO, Glauber; MACHADO, Iuri Pineiro; PINHEIRO, Roniê; ROHR, Stefan (Coord.) Produção de suínos: teoria e prática. Brasília: Associação Brasileira de Criadores de Suínos, 2014. p. 169-177.*

MARINELLO, Francesco; PEZZUOLO, Andrea; DONATO, Cillis; GASPARINI, Franco; SARTORI, Luigi. Application of Kinect-Sensor for three-dimensional body measurements of cows. *In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION LIVESTOCK FARMING, 7th, 2015, Milan. Proceedings...* Milan: [Università Degli Studi di Milano], 2015. p. 661-669.

MASSRUHÁ, Silvia Maria Fonseca Silveira. O papel na agricultura. *Agroanalysis*, Rio de Janeiro, v. 35, n. 9, p. 29-31, 2015.

MASSRUHÁ, Silvia Maria Fonseca Silveira.; LEITE, Maria Angelica de Andrade. Agricultura digital. *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, Tupã, v. 2, n. 1, p. 72-88, jan./jun. 2016.

MASSRUHÁ, Silvia Maria Fonseca Silveira; LEITE, Maria Angelica de Andrade; MOURA, Maria Fernanda. Os novos desafios e oportunidades das tecnologias da informação e da comunicação na agricultura (AgroTIC). *In: MASSRUHÁ, Silvia Maria Fonseca Silveira; LEITE, Maria Angelica de Andrade; LUCHIARI JUNIOR, Ariovaldo; ROMANI, Luciana Alvim Santos (Ed.). Tecnologias da informação e comunicação e suas relações com a agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 1. p. 23-38.*

MATOS, Karoline Silva; SOUZA, Vanessa de Cassia Soares de; TAVARES, Alaire Franco; OLIVEIRA, Ana Joyce Torres de; GARBOSSA, Cesar Augusto Pospissil; DIAS, Lilian de Nazaré Santos. Avaliação do desempenho de suínos na fase de maternidade em granja comercial no município de Paragominas-PA. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, AMBIÊNCIA, COMPORTAMENTO E BEM-ESTAR ANIMAL, 7., 2017, Jaboticabal. Anais ...* Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Biometeorologia, 2017. p. 1-5. Disponível em: <file:///C:/Users/UFRPE/Downloads/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20do%20desempenho%20de%20su%C3%ADnos%20na%20fase%20de%20maternidade%20em%20granja%20comercial%20no%20munic%C3%ADpio%20de%20Paragominas-PA.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019.

MCFARLANE, Nigel J. B.; WU, Jiahua; TILLET, Robin D.; SCHOFIELD, Charles Patrick; SIEBERT, J. Paul; JU, Xiangyang. Shape measurements of live pigs using 3-D image capture. *Animal Science*, Cambridge, v. 81, n. 3, p. 383-391, 2005.

MCROBERTS, Michael. *Arduíno básico*. São Paulo: Novatec, 2011. 453 p.

MELLAGI, Ana Paula Gonçalves; ARGENTI, L. E.; FACCIN, Jamil E. G.; BERNARDI, Mari L.; WENTZ, Ivo; BORTOLOZZO, Fernando P. Aspectos nutricionais de matrizes suínas durante a lactação e o impacto na fertilidade. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 38, supl. 1, p. 181-209, 2010.

MELZ, Milton; SEHNEM, Simone. Ferramentas de gestão que auxiliam na tomada de decisão e elevam a produtividade: o caso das granjas de suínos integradas a uma cooperativa. **Agroalimentaria**, Caracas, v. 22, n. 43, p. 165-181, 2016.

MENESATTI, Paulo; COSTA, Corrado; ANTONUCCI, Francesca; STERI, Roberto; PALLOTTINO, Frederico; CATILLO, Gennaro. A low-cost stereovision system to estimate size and weight of live sheep. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 103, p. 33-38, 2014.

MEUNIER, Bruno; PRADEL, Philippe; SLOTH, K. H.; CIRIÉ, Carole; DELVAL, Eric; MIALON, Marie-Madeleine; VEISSIER, Isabelle. Image analysis to refine measurements of dairy cow behaviour from a real-time location system. **Biosystems Engineering**, London, v. 173, p. 32-44, 2018.

MINAGAWA, Hiromi; SAITO, S.; ICHIKAWA, T. Image segmentation and techniques: a review. **International Journal of Advanced Research Technology**, v. 1 n. 2, p. 118-127, 2011.

MOLLAH, Bazlur Rahman; HASAN, A., SALAM, Abdus; ALI, A. Digital image analysis to estimate the live weight of broiler. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 72, n. 1, p. 48-52, 2010.

MORALES, J. I.; SERRANO, M. P.; CÁMARA, L.; BERROCOSO, J. D.; LÓPEZ, J. P.; MATEOS, G. G. Growth performance and carcass quality of immunocastrated and surgically castrated pigs from crossbreds from Duroc and Pietrain sires. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 8, p. 3955-3964, 2013.

MOREIRA, Faviano R. C.; COSTA, Alberto Neves; MARTINS, Terezinha D. D.; SILVA, José Humberto Vilar da; PASCOAL, L. A. F.; CRUZ, George R. B. da. Substituição parcial do milho por sorgo granífero na alimentação de matrizes suínas primíparas durante a lactação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 66, n. 4, p. 1189-1196, 2014.

MORMÈDE, P.; FOURY, A.; TERENCE, E.; KNAP, P. W. Breeding for robustness: the role of cortisol. **Animal**, v. 5, n. 5, p. 651-657, 2011.

MORTENSEN, A. K.; LISOUSKI, P.; AHRENDT, P. Weight prediction of broiler chickens using 3D computer vision. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 123, p. 319-326, 2016.

MUTUA, Florence K.; DEWEY, Catherine E.; ARIMI, Samuel M.; SCHELLING, Esther; OGARA, W. O. Prediction of live body weight using length and girth measurements for pigs in rural Western Kenya. **Journal of Swine Health and Production**, Iowa, v. 19, n. 1, p. 26-33, 2011.

NASIRAHMADI, Abozar; HENSEL, Oliver; EDWARDS, Sandra A.; STURM, Bárbara. Automatic detection of mounting behaviours among pigs using image analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 124, p. 295-302, 2016.

NASIRAHMADI, Abozar; RICHTER, Uwe; HENSEL, Oliver; EDWARDS, Sandra; STURM, Bárbara. Using machine vision for investigation of changes in pig group lying patterns. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 119, p. 184-190, 2015.

OBERLENDER, Guilherme; MURGAS, Luis David Solis; LIMA, Daniele de; GAGGINI, Thais Schwarz; ZANGERONIMO, Márcio Gilberto; ALVARENGA, Ana Luisa Neves; SILVA, Daiane Moreira. Alterações endócrinas em reprodutores suínos de alto desempenho. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 11, n. 1, p. 245-250, 2010.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de; HIGARASHI, Martha Mayumi. Produção de suínos em sistema de cama sobreposta. *In: OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de. (Coord.) Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: . manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves , 2004. p. 57-67.*

OIE. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE ANIMAL, 2017. Disponível em: <http://www.indea.mt.gov.br/documents/363967/12130990/Introdu%C3%A7%C3%A3o+ao+Bem+Estar+Animal.+Recomenda%C3%A7%C3%B5es+da+OIE.+2019.pdf/1777d7c3-e963-b866-ab5f-4efc15e236b7>. Acessado em 25 nov. 2020.

OZKAYA, Serkan; NEJA, Wojciech; KREZEL-CZOPEK, Sylvia; OLER, Adam. Estimation of bodyweight from body measurements and determination of body measurements on Limousin cattle using digital image analysis. **Animal Production Science**, Clayton South, v. 56, n. 12, p. 2060-2063, 2015.

PALHARES, Liliane Olímpio; DUTRA JÚNIOR, Wilson Moreira; FERREIRA, Débora Nathália de Moura; SILVA, Marconi Italo Lourenço da; COELHO, Andrew Henrique da Silva Cavalcanti; MELO, Rafaela Leitão Correia de. Estimativa de peso vivo e características de carcaça utilizando medidas biométricas em suínos. *In: INVESTIGAÇÃO científica e técnica em ciência animal. Ponta Grossa: Atena, 2018. p. 55-63.*

PANDORFI, Héilton; ALMEIDA, Gledson Luiz Pontes; GUISELINI, Cristiane. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 13, n. 2, p. 558-568, 2012.

PANDORFI, Héilton; SILVA, Iran J. O. da. **Evaluation of the behavior of piglets in different heating systems using analysis of image and electronic identification**. North Carolina: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 2005. Disponível em: <https://dspace.library.cornell.edu/bitstream/1813/10422/1/BC%2003%20021%20Pandorfi%20final%20Oct2005.pdf>. Acesso em: 18 out. 2020.

PANDORFI, Héilton; SILVA, Iran J. O. da; MOURA, Daniella J. de.; SEVEGNANI, Kelly B. Microclima de abrigos escamoteadores para leitões submetidos a diferentes

sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 99-106, 2005.

PARSONS, David J.; GREEN, D. M.; SCHOFIELD, C. P.; WHITTEMORE, C. Real-time control of pig growth through an integrated management system. **Biosystems Engineering**, London, v. 96, n. 2, p. 257-266, 2007.

PASTORELLI, Grazia; MUSELLA, M.; ZANINELLI, Mauro; TANGORRA, F.; CORINO, Carlos. Static spatial requirements of growing-finishing and heavy pigs. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 105, n. 1/3, p. 260-264, 2006.

PAULY, C.; SPRING, P.; O'DOHERTY, John V.; KRAGTEN, S. Ampuero; BEE, Giuseppe. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of group-penned surgically castrated, immunocastrated (Improvac®) and entire male pigs and individually penned entire male pigs. **Animal**, London, v. 3, n. 7, p. 1057-1066, 2009.

PENIDO, Edilus de Carvalho Castro. **Projetos de automação com arduíno: guia detalhado para aplicações industriais, residenciais e agrícolas**. Viçosa: Ed. UFV, 2017. 168 p.

PEZZUOLO, Andrea; GUARINO, Marcela; SARTORI, Luigi; GONZÁLEZ, Luciano A.; MARINELLO, Francesco. On-barn pig weight estimation based on body measurements by a Kinect v1 depth camera. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 148, p. 29-36, 2018.

POPE, G., MOORE, M. **Estimating sow liveweights without scales**. Queensland, Australia: Department of Primary Industries, 2002.

PULS, Christopher L.; ELLIS, M.; MCKEITH, F. K.; GAINES, A. M.; SCHROEDER, A. L. Effects of ractopamine on growth performance and carcass characteristics of immunologically and physically castrated barrows and gilts. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 92, n. 10, p. 4725-4732, 2014a.

PULS, Christopher L.; ROJO, A.; ELLIS, Mike; BOLER, D. D.; MCKEITH, Floyd K.; KILLEFER, John; GAINES, A. M.; MATZAT, Paul Douglas; SCHROEDER, Aubrey L. Growth performance of immunologically castrated (with Improvest) barrows (with or without ractopamine) compared to gilt, physically castrated barrow, and intact male pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 92, n. 5, p. 2289-2295, 2014b.

RAUW, Wendy Mercedes; MAYORGA, E. Johana; LEI, Soi Meng; DEKKERS, Jack C. M.; PATIENCE, John F.; GABLER, Nicholas K.; LONERGAN, Steven M.; BAUMGARD, Lance H. Effects of diet and genetics on growth performance of pigs in response to repeated exposure to heat stress. **Frontiers in Genetics**, Lausanne, v. 8, n. 155, p. 1-18, 2017.

REIS, Marlon de Souza. **Monitoramento automático de trânsito através de técnicas de visão computacional com o OpenCV**. 2014. 32 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento) - Faculdade de Ciências Empresariais, Universidade FUMEC, Belo Horizonte, 2014.

RESENDE-FILHO, Moisés A.; HURLEY, Terrance M. Information asymmetry and traceability incentives for food safety. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 139, n. 2, p. 596-603, 2012.

RIBEIRO, Nathan Gustavo Vieira; GUEDES, Gustavo Bartz; BARBIERI, Tamires Tessarolli. Aplicação de algoritmos de visão computacional na contagem de gado por meio de processamento de imagens aéreas. **Revista Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação**, v. 1, n. 10, 2019.

RODRIGUES, Bruno Urbano. **Reconhecimento do tipo de cachaça utilizando visão computacional e reconhecimento de padrões**. 2015. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

ROSELL-POLO, Joan R.; CHEEIN, Fernando Auat; GREGORIO, Eduardo; ANDÚJAR, Dionisio; PUIGDOMÈNECH, Lluís; MASIP, Joan; ESCOLÀ, Alexandre. Advances in structured light sensors applications in precision agriculture and livestock farming. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 133, p. 71-112, 2015.

SALAKO, Adebawale E. Application of morphological indices in the assessment of type and function in sheep. **International Journal of Morphology**, Temuco, v. 24, n. 1, p. 13-18, 2006.

SALAU, Jennifer; HAAS, Jan Henning; JUNGE, Wolfgang; THALLER, Georg. Extrinsic calibration of a multi-Kinect camera scanning passage for measuring functional traits in dairy cows. **Biosystems Engineering**, London, v. 151, p. 409-424, 2016.

SALES, Francisco A. de Lima; BARBOSA FILHO, José A. D.; AQUINO, Tércia M. F.; BRITO, Ismênia F.; CARVALHO, Luiz E. Monitoramento ambiental do perfil horizontal de um galpão para suínos, na fase de gestação, utilizando zootecnia de precisão. **Revista Científica de Produção Animal**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 7-12, 2014.

SAMPAIO, Carlos Augusto de Paiva; CRISTANI, José; DUBIELA, Juliana Aparecida; BOFF, César Eduardo; OLIVEIRA, Marco Antônio de. Avaliação do ambiente térmico em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.785-790, 2004.

SANTOS, Andréa Rivieri. **Rastreabilidade “do laboratório à mesa”: um estudo da cadeia produtiva da indústria de carne suína na empresa Doux**. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2011.

SANTOS, Douglas B.; MENDONÇA, Guilherme A.; SILVA-MENDONÇA, Mariana C. A.; ANTUNES, Robson Carlos. Avaliação das taxas de parto em fêmeas suínas submetidas a dois manejos de verificação. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 298 – 305, 2014.

SANTOS, J.; SANDI, A.; MIELE, M.; MARTINS, F.; JACOBINA, A.; SOUZA, B. **Índices dos custos de produção de suínos**. Concórdia: Embrapa, 2013. Disponível em:

<http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/index.php>. Acesso em: 15 set. 2019.

SANTOS, Luan Sousa dos. **Linhas genéticas e sistema de alimentação de precisão como alternativa sustentável para produção de suínos em países de clima tropical**. 2019. 34 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de Paulista, Jaboticabal, 2019.

SCHOFIELD, C.P.; MARCHANT, J.A.; WHITE, R.P.; BRANDL, N.; WILSON, M. Monitoring pig growth using a prototype imaging system. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 72, n. 3, p. 205-210, 1999.

SCHÖN, Peter C.; PUPPE, Birger; MANTEUFEL, Gerthard. Automated recording of stress vocalisations as a tool to document impaired welfare in pigs. **Animal Welfare**, Hertfordshire, v. 13, n. 2, p. 105-110, 2004.

SHAO, Bin; XIN, Hongwei. A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 62, n. 1, p. 15-21, 2008.

SHI, Chen; TENG, Guanghui.; LI, Zhuo. An approach of pig weight estimation using binocular stereo system based on LabVIEW. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 129, p. 37-43, 2016.

SHULL, Caleb Michael. **Modeling growth of pigs reared to heavy weights**. 2013. 143 f. These (Doctor of Philosophy in Animal Sciences) - University of Illinois, Champaign, 2013.

SILVA, Caio Abercio; AGOSTINI, Piero da Silkva; GASA, Josep. Uso de modelos matemáticos para analisar a influência de fatores de produção sobre a mortalidade e desempenho de suínos de terminação. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 9., 2015, Porto Alegre. **Avanços em sanidade, produção e reprodução de suínos: anais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015. p.267-284.

SILVA, Rodes Ângelo Batista da; PANDORFI, H.; ALMEIDA, Gledson Luiz Pontes de; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; SILVA, Marcos Vinícius da. Spatial dependence of udder surface temperature variation in dairy cows with healthy status and mastitis. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 20, 2019.

SLIPPERS, S. C., LETTY, B. A., DE VILLIERS, J. F. Prediction of body weight of Nguni goats. **South African Journal of Animal Science**, Pretoria, v. 30, n. 1, p. 127-128, 2000.

SONG, Xiangyu.; BOKKERS, E. A. M.; VAN DER TOL, P. P. J.; GROOT KOERKAMP, Peter W. G.; VAN MOURIK, Simon. Automated body weight prediction of dairy cows using 3-dimensional vision. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 101, n. 5, p. 4448-4459, 2018.

SOUZA, S. F.; COSTA, R. G.; RESENDE, Kléber Tomás de; TEIXEIRA, Izabelle

Auxiliadora Molina de Almeida; CAVALCANTI FILHO, E. P.; FERREIRA, R. M.; OLIVEIRA, M. E. F. Avaliação das curvas de crescimento de caprinos das raças Saanen e 7/8 Boer durante a fase de aleitamento. *In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*, 44., 2007, Jaboticabal. **Anais ... Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 2007. 1 CD-ROM.

STAJNKO, Denis; BRUS, Maksimiljan; HOČEVAR, Marko. Estimation of bull live weight through thermographically measured body dimensions. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 61, n. 2, p. 233-240, 2008.

STAVRAKAKIS, Sophia; LI, Wei; GUY, Jonathan H.; MORGAN, Graham; USHAW, Gary; JOHNSON, Garth R.; EDWARDS, Sandra A. Validity of the microsoft kinect sensor for assessment of normal walking patterns in pigs. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 117, p. 1-7, 2015.

TASDEMIR, Sakir; URKMEZ, Abdullah; INAL, Seref. 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**, New York, v. 76, n. 2, p. 189-197, 2011.

TOPAI, Mehmet; MACIT, Muhlis. Prediction of body weight from body measurements in Markaraman sheep. **Journal of Applied Animal Research**, Izatnagar, v. 25, n. 2, p. 97-100, 2004.

TRABACHINI, Aldie. **Sistema automatizado de alimentação individualizada para suínos visando aplicação em rastreabilidade animal**. 2013. 172 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

VÁZQUEZ-ARELLANO, Manuel; GRIEPENTROG, Hans W.; REISER, David; PARAFOROS, Dimitris S. 3-D imaging systems for agricultural applications: a review. **Sensors**, Basel, v. 16, n. 5, p. 618, 2016,

VELARDE, Antonio; DALMAU, Antoni; KEELING, Linda; VEISSIER, Isabelle. **Welfare Quality® assessment protocol for pigs (sows and piglets, growing and finishing pigs)**. [S. l.]: FAO, 2009. 122 p. Welfare Quality® Consortium. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR20210198587>. Acesso em: 1 ago. 2018.

VIAZZI, Stefano; BAHR, C.; VAN HERTEM, Tom; SCHLAGETER-TELLO, Andrés; ROMANINI, C.E.B.; HALACHMI, Ilan; LOKHORST, C.; BERCKMANS, Daniel. Comparison of a three-dimensional and twodi- mensional camera system for automated measurement of back posture in dairy cows. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 100, p. 139-147, 2014.

VICENTE, Antônio Pedro Andrade; PEREIRA, Lisbete.; CAROLINO, Nuno; CAROLINO, Maria Inês; GAMA, Luis T. Caracterização morfológica do porco " Malhado de Alcobaça". **Suicultura**, [Lisboa], v. 69, p. 47-56, 2006.

WALUGEMBE, Muhammed. **Evaluation of pig and cattle performance under small scale farmers' management conditions**. 2017. 100 f. Dissertation (Master in Animal

Science) – Iowa Station University, Ames, 2017.

WANG, Ke; GUO, Hao; MA, Qin; SU, Wei; CHEN, Luocho; ZHU, Dehai. A portable and automatic Xtion-based measurement system for pig body size. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 148, p. 291-298, 2018.

WANG, Y.; YANG, Weiqing; WINTER, P.; WALKER, L. Walk-through weighing of pigs using machine vision and an artificial neural network. **Biosystems Engineering**, London, v. 100, n. 1, p. 117-125, 2008.

WATHES, Christopher M. Lives worth living? **Veterinary Record**, London, v. 166, n. 15, p. 468-489, 2010.

WEBER, Astrid; SALAU, Jennifer; HAAS, Jan Henning; JUNGE, Wolfgang; BAUER, Ulrike; HARMS, Jan; SUHR, Olaf; SCHÖNROCK, Karsten; ROTHFUß, Hubert; BIELETZKI, Sascha; THALLER, Georg. Estimation of backfat thickness using extracted traits from an automatic 3D optical system in lactating Holstein- Friesian cows. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 165, p. 129-137, 2014.

WHITTEMORE, C. T. **Ciencia y práctica de la producción porcina**. Zaragoza: Acribia, 1996. 666 p.

WOLF, C. A.; TONSOR, G. T.; MCKENDREE, M. G. S.; THOMSON, D. U.; SWANSON, J. C. Public and farmer perceptions of dairy cattle welfare in the United States. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 99, n. 7, p. 5892-5903, 2016.

WONGSRIWORAPHON, Apirachai; ARNONKIJPANICH, Banchar; PATHUMNAKUL, Supachai. An approach based on digital image analysis to estimate the live weights of pigs in farm environments. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 115, p. 26–33, 2015.

CAPÍTULO II MODELAGEM BIOMÉTRICA PARA ESTIMATIVA DO PESO VIVO DE SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de carne suína do mundo. Esse cenário se deu a partir de progressos no sistema de produção que considera melhorias sanitárias, genéticas, práticas de manejo e bem-estar animal. Existem alguns agentes estressores que dificultam o maior crescimento e desenvolvimento sustentável na pecuária, entre eles a pesagem convencional dos suínos é um problema que necessita de solução. Objetivou-se desenvolver modelos de predição do peso vivo para suínos nas fases de crescimento e terminação, além de um modelo global, por meio da análise multivariada associada à análise de regressão múltipla das medidas biométricas dos animais. O estudo foi conduzido na Fazenda Roçadinho, no município de Capoeiras, localizada região Agreste do estado de Pernambuco, onde foram realizadas as pesagens (kg) e medições manuais de cinco parâmetros biométricos (comprimento do corpo, cm; perímetro torácico, cm; altura à cernelha, cm; altura da garupa, cm; largura da garupa, cm) de 20 animais na fase de crescimento e 24 animais na fase de terminação, do cruzamento de Pietrain e Large White, totalizando 44 animais (machos e fêmeas). Após a análise de componentes principais, seleção das duas medidas biométricas que apresentaram a maior correlação com o peso dos animais e a posterior análise de regressão, obtiveram-se duas equações preditivas para cada fase de criação: crescimento, terminação e uma para a junção das duas fases compondo o conjunto global de dados. Os maiores coeficientes de determinação (R^2) apresentados pelos modelos de predição propostos para as fases de crescimento e terminação foram de 91,32 e 84,68%, respectivamente, sendo o modelo global de 98,97%, o que denota a confiabilidade e aplicabilidade dos modelos desenvolvidos.

Palavras-chave: modelagem biométrica, análise de componentes principais, predição do peso vivo.

CHAPTER II BIOMETRIC MODELING TO ESTIMATE THE LIVE WEIGHT OF PIGS IN THE GROWTH AND FINISHING STAGES

ABSTRACT

Brazil is one of the largest producers and exporters of pork in the world. This scenario occurred from progress in the production system that considers improvements in sanitary, genetic, management practices and animal well-being. There are some stressing agents that difficult the greater growth and sustainable development in livestock, among them the conventional weighing of pigs is a problem that needs to be solved. The objective was to develop live weight prediction models for pigs in the growth and termination phases, as well as a global model, by using multivariate analysis associated with multiple regression analysis of the biometric measurements of the animals. The study was conducted in the Roçadinho farm, in the Capoeiras district, located in the Agreste region of Pernambuco state, where were performed the weighings (kg) and manual measurements of five biometric parameters (body length, cm; chest circumference, cm; height at the withers, cm; croup height, cm; croup width, cm) of 20 animals in the growing phase and 24 animals in the termination phase, from the crossing of Pietrain and Large White, totaling 44 animals (males and females). After the principal component analysis, selection of the two biometric measurements that presented the highest correlation with the weight of the animals and the subsequent regression analysis, two predictive equations were obtained for each phase of rearing: growth, termination and one for the junction of the two phases composing the global set of data. The highest coefficients of determination (R^2) presented by the proposed prediction models for the phases of growth and termination were 91.32 and 84.68%, respectively, and the global model was 98.97%, which denotes the reliability and applicability of the models developed.

Keywords: biometric modeling, principal component analysis, liveweight prediction.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil continua sendo o 4º maior produtor e exportador de carne suína do mundo. Em 2021, produziu 4,701 milhões de toneladas de carne suína, sendo 24,1% destinado a exportação. O consumo per capita vem crescendo desde 2016, chegando a 16,7 Kg hab⁻¹ ano⁻¹ em 2021. As unidades federativas que mais se destacam na produção de carne suína no país são Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso e Minas Gerais, somando 87,45% da produção nacional, esses mesmos estados são responsáveis por 96,86% das exportações nacionais (ABPA, 2022).

A suinocultura é uma atividade praticada em diversas regiões do globo, tendo uma grande importância socioeconômica. Diante disso, Pandorfi *et al.* (2020) afirmam que nas últimas décadas, com a globalização e abertura dos mercados, tem-se observado uma série de mudanças macroeconômicas que impulsionaram positivamente o setor, o que desencadeia processos de modernização de forma consistente, afim de impactar positivamente a sociedade, atingindo altos padrões de qualidade e expressiva produção.

O valor de uma carcaça suína para a produção de carne depende principalmente do peso da carcaça (BROWN-BRANDI *et al.*, 2004). Dito isto, a necessidade do acompanhamento da variação do peso vivo do suíno ainda é um desafio nos sistemas de produção, que vai além do gerenciamento da granja, impactando também na adequação das fases de criação e definição do tempo de abate. Nestes cenários, algumas melhorias podem ser empregadas afim de tornar a produção de carne suína sustentável e mais rentável.

O método direto de medição mais comum praticado é o método de pesagem, por meio de uma balança eletrônica abrigada na instalação. Esse processo costuma ser estressante, tanto para o animal quanto para o criador, por exigir mão de obra para a condução dos animais ao centro de manejo e acesso a balança (JUN; KIM; JI, 2018; MARINELLO *et al.*, 2015).

Existem métodos não-invasivos para estimativa da massa corporal do suíno, destacando-se a correlação entre as medidas biométricas do animal e o peso vivo, possibilitando a minimização do estresse quando comparado com o processo convencional.

Afim de obter o melhor custo benefício sobre os sistemas de pesagem dos animais, métodos não-invasivos vêm sendo desenvolvidos (HE *et al.*, 2021; PANDORFI *et al.*, 2020).

A aparência externa (morfologia) ainda é comumente usada por pesquisadores e

profissionais na identificação, caracterização e seleção de animais de fazenda (SHI; ZHANG; TENG, 2020; SIEWE *et al.*, 2021; YAKUBU, 2013; ZHANG *et al.*, 2021).

A aplicação de ferramentas estatísticas refinadas está ganhando visibilidade dentro das ciências agrárias, por fornecer resultados mais robustos e modelos de predição precisos e ao mesmo tempo, menos onerosos. A análise multivariada vem sendo utilizada de forma eficiente nas pesquisas pecuárias, relacionando o peso vivo á medidas biométricas dos suínos (YAKUBU; DURVEN; HAGAN, 2022), ou mesmo na comparação de raças para entender a relação das características morfológicas e determinar o tamanho corporal durante o crescimento de suínos (AKPORHUARHO; IRIAKPE, 2021).

Silva *et al.* (2011), Teixeira *et al.* (2015) e Teixeira *et al.* (2016) afirmam que a análise de fatores, entre outras possibilidades multivariadas, é capaz de reduzir o enredamento univariado gerando resultados satisfatórios em estudos com suínos. Corroborando Rosário *et al.* (2008) ao perceber que os mecanismos envolvidos no crescimento dos animais de produção são muito multifacetados para serem explicados usando análises univariadas.

A análise de componentes principais (ACP) tem sido utilizada por vários pesquisadores para avaliar a relação entre características corporais e tamanho em frango (YAKUBU; AYOADE, 2009; YAKUBU *et al.*, 2010), cabra (BELKHADEM *et al.*, 2019; MAGAÇO; FELIMONE, 2020; MOSES, 2010), peru (MEDIOUNI *et al.*, 2020; OGAH *et al.*, 2011), pato (MCCRACKEN; PATON; AFTON, 2000; OGAH; HASSAN; MUSA, 2009), vacas (FRAGA *et al.*, 2016), ovelhas (MEKA *et al.*, 2021), abelhas (ABED *et al.*, 2021), suínos (AKPORHUARHO; IRIAKPE, 2021; YAKUBU; DURVEN; HAGAN, 2022), entre outros.

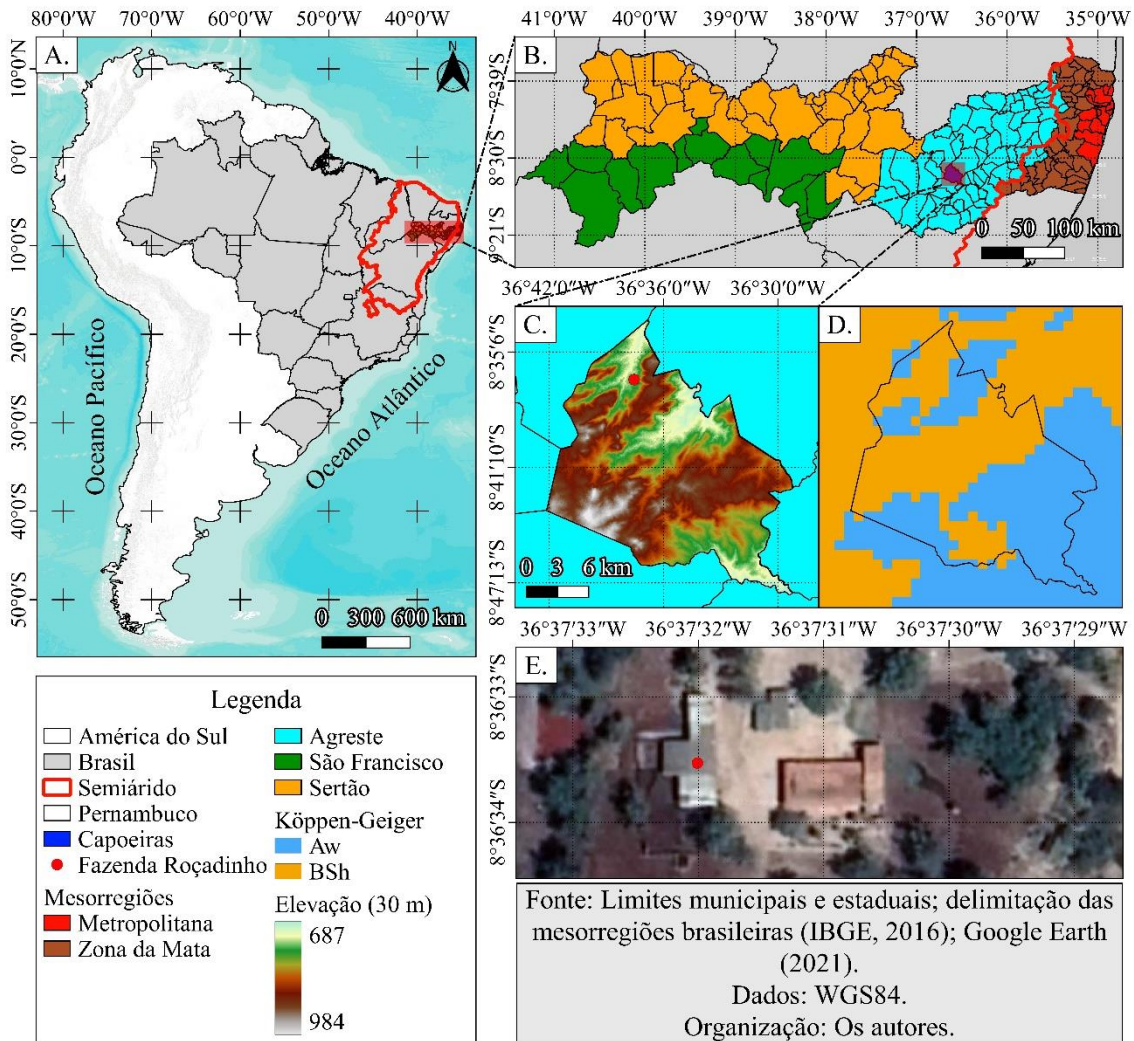
Diante do abordado, objetivou-se desenvolver modelos de predição do peso vivo para suínos nas fases de crescimento e terminação, além de um modelo global, por meio da análise multivariada associada à análise de regressão múltipla das medidas biométricas dos animais, definindo quais delas são mais relacionadas ao peso vivo, a fim de auxiliar no desenvolvimento de sistemas automáticos de predição do peso vivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Fazenda Roçadinho, no município de Capoeiras, localizada na Microrregião do Vale do Ipojuca, Mesorregião Agreste do estado de Pernambuco, latitude de 8° 36'S, longitude de 36° 37'W e altitude de 850 m (Figura 1).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como semiárido (Bsh).

Figura 1 - América do sul (A); Mesorregiões de Pernambuco (B); Hipsometria de Capoeiras (C); Classificação de Köppen (D); Geolocalização da Fazenda Roçadinho (E)



Fonte: Farias (2022)

A pesquisa foi conduzida na unidade de produção de suínos da Fazenda Roçadinho. O monitoramento das variáveis foi realizado nas fases de crescimento e terminação, em dezembro de 2021 e março de 2022, respectivamente.

Todos os suínos foram conduzidos a um brete de contenção acoplado a uma balança eletrônica de plataforma Filizola com carga máxima de 300 kg, carga mínima de 2 kg e precisão igual a 100 g (Figura 2), onde foram realizadas as pesagens (kg) e medições manuais dos parâmetros biométricos (cm). A condução da pesquisa foi certificada pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), sob protocolo nº 9693071021 – ID 000921, de acordo

com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, em consonância com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), aprovada pela CEUA/UFRPE em 15 de dezembro de 2021.

Figura 2 - Imagem da câmera Kinect V2 (círculo vermelho) fixada no telhado da instalação e brete de contenção acoplado à balança

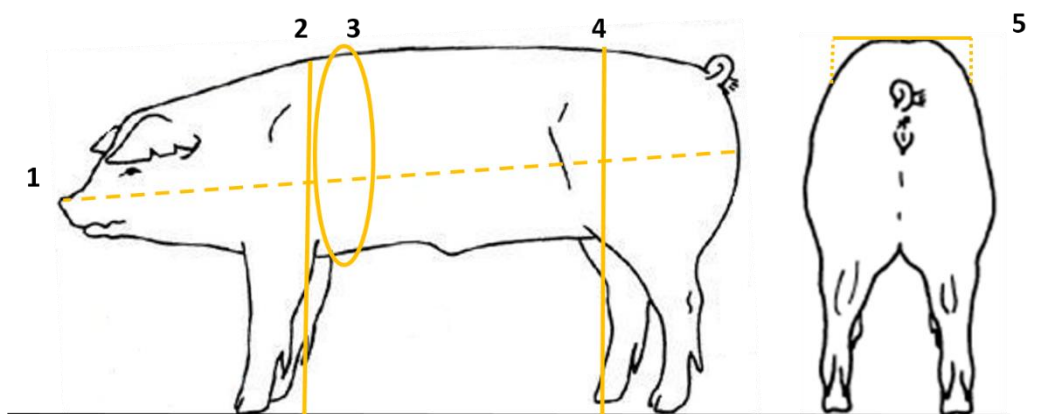


Fonte: Farias (2022)

As medidas biométricas dos animais foram obtidas por meio de fita métrica simples para costura, feita de material plástico, de 1,5 metros (150x2 cm) enumerada em centímetros, com a graduação dos milímetros. Ao todo cinco parâmetros foram considerados: comprimento do corpo (medido desde a ponta do focinho até à ponta da nádega, cm), perímetro torácico (medido desde a zona de maior declive do garrote passando pela base ventral do esterno, cm), altura à cernelha (medida desde o solo ao ponto mais alto do garrote, cm), altura da garupa (medida desde o solo à tuberosidade ilíaca externa - ponta da anca, cm) e largura da garupa (medida entre ambas as tuberosidades ilíacas externas, cm) (Figura 3). A medida em que os dados foram obtidos,

os suínos foram sendo devidamente identificados e liberados. Foram obtidas as medidas de 20 animais na fase de crescimento e 24 animais na fase de terminação, do cruzamento de Pietrain e Large White, totalizando 44 animais (machos e fêmeas).

Figura 3 - Esquema das marcações das medidas manuais dos suínos. 1 - comprimento do corpo; 2 - altura à cernelha; 3 - perímetro torácico; 4 - altura da garupa e; 5 - largura da garupa



Fonte: Farias (2022)

Utilizando o conjunto de medidas biométricas, realizou-se a análise multivariada, por meio da técnica de análise de componentes principais (ACP) a fim de determinar as correlações entre as variáveis biométricas e os pesos reais correspondentes a cada animal. Para validação da ACP foi adotado o critério de Kaiser (1958), no qual, admite-se que os autovalores das componentes devem ser superiores a 1, para a projeção dos gráficos bidimensionais. A rotação Varimax, ou seja, uma rotação ortogonal, foi aplicada nas componentes principais para obter melhor interpretação física das medidas biométricas e do peso vivo e maximizar a correlação das variáveis e componentes (NEHRANI *et al.*, 2011). O software empregado para a análise de componentes principais foi o OriginLab versão 8.6.

Os mesmos dados foram submetidos a análise de estatística descritiva, análise de variância (ANOVA), obtendo as medidas de máximo, mínimo, média e variação, através do Minitab versão 19 e o Excel versão 2016, com a finalidade de expressar os resultados com o teste de significância de 99% (Valor-P < 0,01), assumindo que as respostas encontradas apresentem erro menor que 1% de probabilidade.

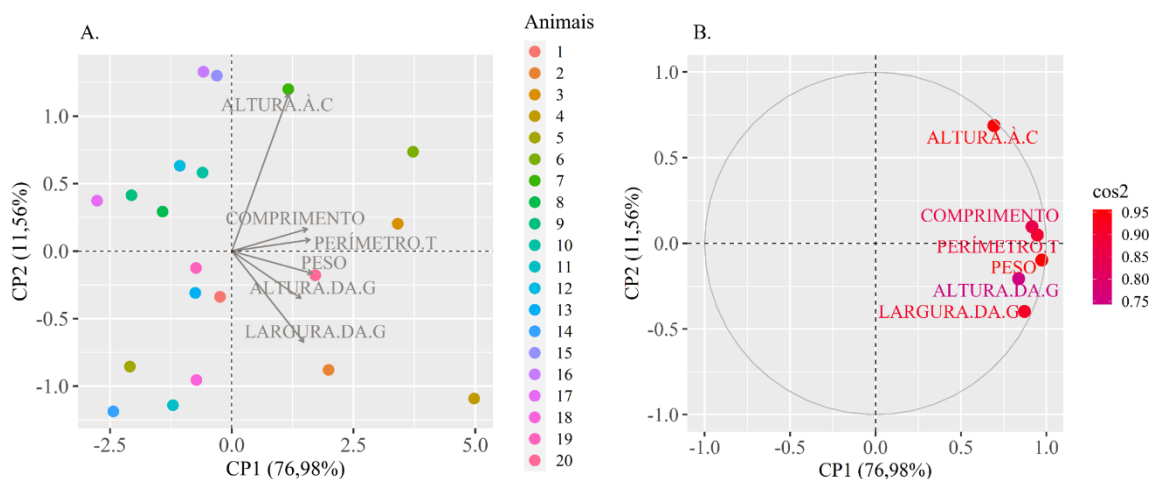
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise multivariada das medidas biométricas relacionadas ao

peso vivo dos suínos estão descritos para as fases de crescimento, terminação e a junção destas, resultando na análise global.

Na Figura 4A é apresentada a análise de componentes principais (ACP) e análise de correlação por componentes principais (CCP) (Figura 4B) das medidas biométricas, comprimento (COMP, cm), perímetro torácico (PT, cm), altura da garupa (AG, cm), altura à cernelha (AC, cm) e largura da garupa (LG, cm) e peso vivo dos animais (kg) na fase de crescimento. De acordo com a Figura 4A, verifica-se que quanto a distribuição dos animais (amostras) relacionadas as variáveis predictoras (COMP, PT, AG, AC e LG), não é possível notar alto grau de representatividade desses animais por essas medidas, o que não enfraquece as respostas positivas quanto ao grau de correlação estatística existente entre as variáveis biométricas e o peso (Figura 4B).

Figura 4 - Componentes principais dos animais amostrados na fase de crescimento relacionados as variáveis estudadas (A); correlação por componentes principais das medidas biométricas (comprimento, perímetro torácico, altura da garupa, altura à cernelha e largura da garupa) relacionadas ao peso vivo dos animais (B). ALTURA.À.C: Altura à cernelha; PERÍMETRO.T: Perímetro torácico; ALTURA.DA.G: Altura da garupa; LARGURA.DA.G: Largura da garupa



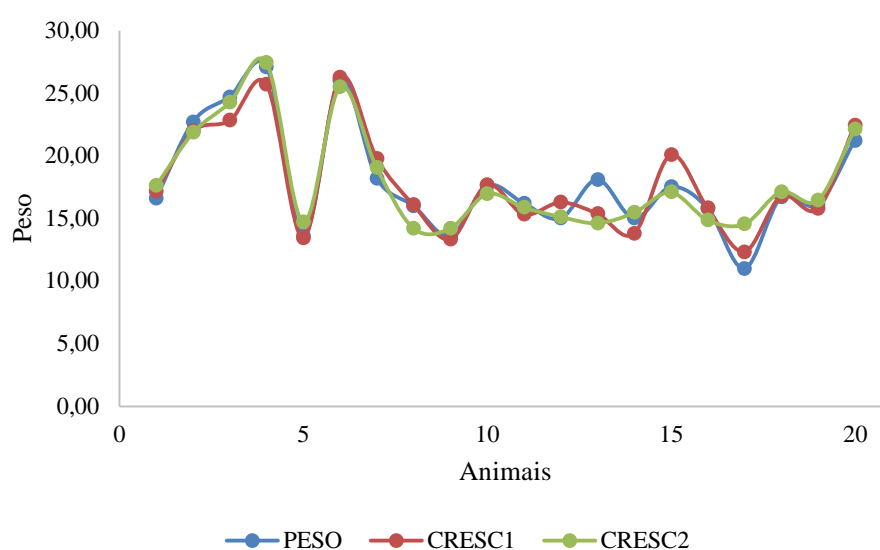
Fonte: Farias (2022)

Na fase de crescimento observa-se por meio da ACP que a componente principal 1 (CP1) é responsável por representar 76,98% da correlação existente entre as variáveis predictoras e o peso, enquanto que a componente principal 2 (CP2) é responsável por apenas 11,56%, diante disso, o acumulativo da variância total das variáveis estudadas foi de 88,54% (Figura 4B). A correlação das componentes principais, se baseia na correlação de Pearson (alta correlação – coeficiente tende a 1 ou -1) é apresentada na escala de cor, sendo perceptível a alta correlação entre o peso, a AC, PT, LG, e COMP, nessa ordem, com valores entre 0,80 e 0,95, apontando que a AG apresentou a menor correlação, com valor próximo a 0,75. Assumindo a classificação apontada por Dancey e Reidy (2006),

todas as variáveis descritas apresentam um grau de correlação forte (compreendido no intervalo de 0,7 até 1).

Com base na CCP, foram selecionadas as duas variáveis biométricas que apresentaram maior correlação (\cos^2) com o peso, para posterior análise de regressão e criação dos modelos preditivos CRESC1 e CRESC2 (Figura 5).

Figura 5 - Representação gráfica dos valores do peso real e dos pesos estimados pelos modelos CRESC1 e CRESC2



Fonte: Farias (2022)

O modelo CRESC1 conforme representado na Equação 1, resultou da combinação das variáveis COMP e PT. Os resultados da análise de variância (ANOVA) e análise de regressão múltipla do modelo estabelecido são apresentados na Tabela 1. Tem-se que o coeficiente de determinação para o modelo foi significativo ($R^2 = 0,9132$), sendo um modelo relevante para estimativas de peso na fase de crescimento. O modelo de predição CRESC1 apresentou diferença máxima de 2,73 kg, diferença mínima de 0,02 kg e um erro absoluto igual a 0,93 kg, valores que representam 15,1, 0,1 e 5,3% de variação entre o peso real e o peso estimado através desse modelo, respectivamente.

Equação 1:

$$CRESC1 = -46,03 + 0,499COMP + 0,454PT$$

Em que:

CRESC1 = Estimativa de peso vivo do animal (kg);

COMP = Comprimento do animal (cm);

PT = Perímetro torácico do animal (cm).

Tabela 1 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para o modelo CRESC1

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Regressão	2	319,12	159,559	89,38	0
COMP	1	22,41	22,406	12,55	0,003
PT	1	22,52	22,519	12,61	0,002
Erro	17	30,35	1,785		
Total	19	349,47			

Regressão Estatística				
Preditoras do modelo	Coeficientes de regressão			
	β_0	β_1	β_2	R ²
COMP, PT	-46,03	0,499	0,454	0,9132

Fonte: Farias (2022)

GL: grau de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio, COMP: comprimento (cm), PT: perímetro torácico (cm).

Morenikeji *et al.* (2018) também utilizaram as medidas corporais lineares, como comprimento do corpo, perímetro torácico, dentre outras, para caracterizar suínos. Em um estudo relacionado, Al Ard Khanji *et al.* (2018) usaram distância flanco a flanco, perímetro cardíaco, comprimento e profundidade do lombo para prever o peso corporal, com ajustes similares ao modelo apresentado neste estudo.

O teste estatístico foi realizado com a significância de 99% (Valor-P < 0,01), tendo apresentado Valor-P iguais a 0,002 e 0,003, reafirmando a confiabilidade do modelo para a porcentagem definida. Esses resultados corroboram Cruz (2019) que através da análise de correlação de Pearson tomando como medidas de suínos machos o perímetro torácico (PT), comprimento corporal (CC), comprimento de cabeça (CCa), comprimento de pescoço (CP), e a soma do perímetro torácico e comprimento corporal (PT+CC), a fim de verificar a correlação entre as mesmas, os autores observaram respostas positivas fortes para CC e PT, com o peso vivo. O mesmo aconteceu com Panda *et al.* (2021) quando relataram que além de outras medidas, o comprimento do corpo, perímetro da barriga tiveram altos coeficientes de correlação com o peso corporal (PC) em fases de desmame e pós-desmame, reforçando a predição de peso vivo através de medidas biométricas mesmo nas fases iniciais.

O segundo modelo (CRESC2) considerado para a fase de crescimento dos

animais, descrito por meio da Equação 2, apresentou-se com a combinação do PT e a LG. O $R^2 = 0,8990$ mostra que a estimativa é significativamente relevante. Os Valor-P iguais a 0,000 e 0,001 asseguram a confiabilidade do modelo gerado, como exposto na Tabela 2. O CRESC2 apresentou uma diferença máxima de 3,55 kg, diferença mínima de 0,13 kg e erro absoluto igual a 0,95 kg, valores que representam respectivamente 32,3, 0,9 e 6,1% de variação entre o peso real e o peso estimado através desse modelo, apresentando variação maior, quando comparado ao CRESC1. Esse efeito pode ser explicado por meio do valor de R^2 menor no modelo de predição 2.

Equação 2:

$$CRESC2 = -27,34 + 0,582PT + 0,664LG$$

Em que:

CRESC2 = Estimativa de peso vivo do animal (kg);

PT = Perímetro torácico do animal (cm);

LG = Largura da garupa (cm).

Tabela 2 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para o modelo CRESC2

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Regressão	2	314,172	157,086	75,66	0,000
PT	1	53,33	53,33	25,69	0,000
LG	1	17,461	17,461	8,41	0,010
Erro	17	35,293	2,076		
Total	19	349,466			
Regressão Estatística					
Preditoras do modelo	Coeficientes de regressão				
	β_0	β_1	β_2	R^2	
PT, LG	-27,34	0,582	0,664	0,8990	

Fonte: Farias (2022)

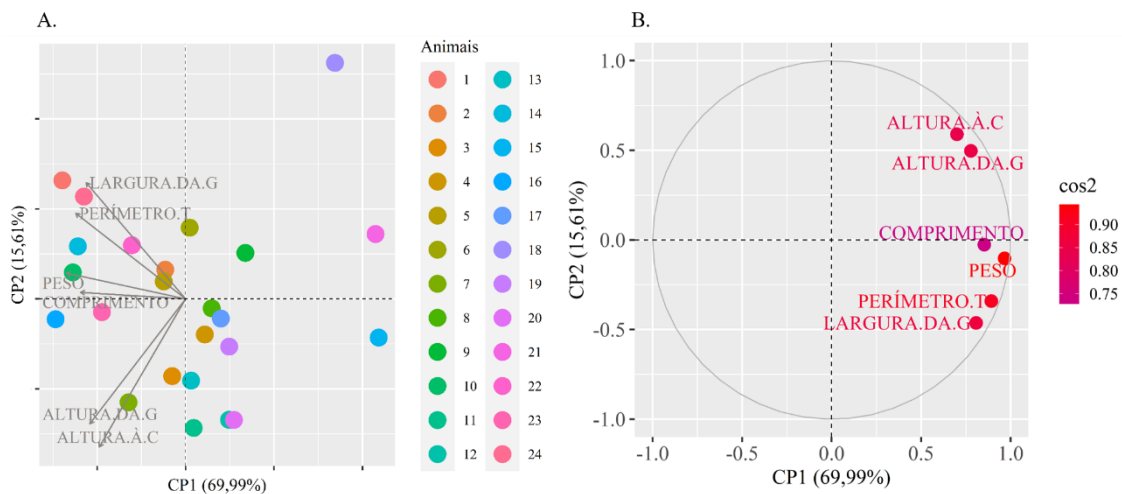
GL: grau de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio, PT: perímetro torácico (cm), LG: largura da garupa (cm).

Para a fase de terminação, como mostra a Figura 6A, através da ACP nota-se que a componente principal 1 (CP1) é responsável por representar 69,99% da correlação existente entre as variáveis preditoras e o peso, enquanto que a componente principal 2 (CP2) é responsável por 15,61%, isso significa um acumulativo da variância total das variáveis estudadas igual à 85,60% (Figura 4B). A ACP mostrou que a variável que apresentou menor correlação com o peso vivo dos suínos foi o COMP (0,75), mesmo

sendo considerada uma correlação mediana. Enquanto as maiores correlações (\cos^2) foram apresentadas pelo PT, LG, AG e AC, em ordem decrescente, com valores entre 0,85 e 0,90.

A Figura 6A apresenta de forma mais expressiva o agrupamento dos animais com relação as variáveis predictoras, quando comparado a fase de crescimento, indicando que as medidas biométricas foram mais comuns entre as amostras, tornando as respostas do modelo mais significativas.

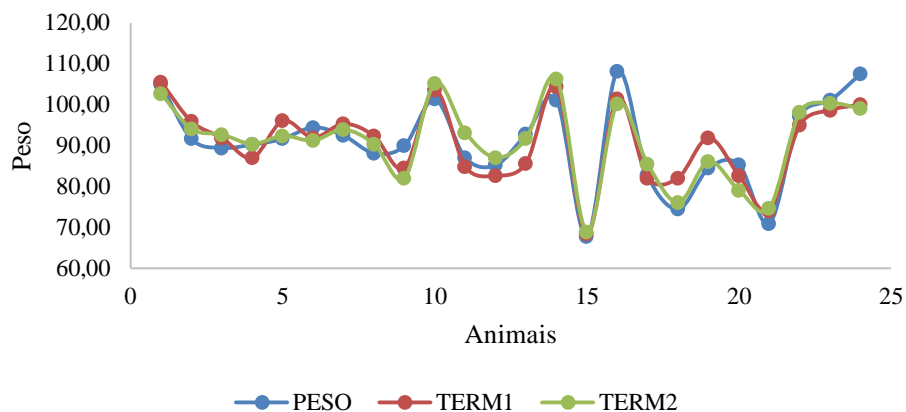
Figura 6 - Componentes principais dos animais amostrados na fase de terminação relacionados as variáveis predictoras (A); correlação por componentes principais das medidas biométricas (comprimento, perímetro torácico, altura da garupa, altura à cernelha e largura da garupa) relacionadas ao peso vivos dos animais (B). ALTURA.À.C: Altura à cernelha; PERÍMETRO T: Perímetro torácico; ALTURA.DA.G: Altura da garupa; LARGURA.DA.G: Largura da garupa



Fonte: Farias (2022)

Para a fase de terminação também foram desenvolvidas duas equações de predição, TERM1 e TERM2 que estão representada graficamente na Figura 7.

Figura 7 - Representação gráfica dos valores do peso real e dos pesos estimados pelos modelos TERM1 e TERM2



Fonte: Farias (2022)

O modelo TERM1 (Equação 3) é baseado nas medidas de COMP e PT dos animais e apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,8289 e Valor-P de 0,005 e 0,000, como mostra a Tabela 3. Com relação as diferenças e variações entre o peso real e o estimado por este modelo, nota-se diferença máxima de 7,65 kg, diferença mínima de 0,50 kg e erro absoluto de 3,67 kg, valores que representam respectivamente 10,3, 0,6 e 4,1% de variação.

Equação 3

$$TERM1 = -73,6 + 67,8COMP + 0,829PT$$

Em que:

TERM1 = Estimativa de peso vivo do animal (kg);

COMP = Comprimento do animal (cm);

PT = Perímetro torácico do animal (cm)

Tabela 3 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para o modelo TERM1

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Regressão	2	2110,13	1055,06	50,86	0,000
COMP	1	206,38	206,38	9,95	0,005
PT	1	371,36	371,36	17,9	0,000
Erro	21	435,62	20,74		
Total	23	2545,75			

Regressão Estatística				
Preditoras do modelo	Coeficientes de regressão			
	β_0	β_1	β_2	R^2
COMP, PT	-73,6	67,8	0,829	0,8289

Fonte: Farias (2022)

GL: grau de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio, COMP: comprimento (cm), PT: perímetro torácico (cm).

O modelo TERM2 (Equação 4) se baseou nas medidas de PT e AG e, apresentou R^2 de 0,8468 e 0,000 e 0,001 para o Valor-P de cada uma das medidas biométricas (Tabela 4). O modelo de predição TERM2 apresentou diferença máxima de 8,53 kg, diferença mínima de 0,13 kg e erro absoluto igual a 3,19 kg, respectivamente, que correspondeu a 8,8, 0,1 e 3,5% de variação entre o peso real e o peso estimado pelo modelo.

Equação 4

$$TERM2 = -105,5 + 0,997PT + 1,332AG$$

Em que:

TERM2 = Estimativa de peso vivo do animal (kg);

PT = Perímetro torácico do animal (cm);

AG = Altura da garupa (cm).

Tabela 4 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para o modelo TERM2

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Regressão	2	2110,13	1055,06	50,86	0,000
PT	1	206,38	206,38	9,95	0,005
AG	1	371,36	371,36	17,9	0,000
Erro	21	435,62	20,74		
Total	23	2545,75			

Regressão Estatística				
Preditoras do modelo	Coeficientes de regressão			
	β_0	β_1	β_2	R ²
PT, AG	-105,5	0,997	1,332	0,8468

Fonte: Farias (2022)

GL: grau de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio, PT: perímetro torácico (cm), AG: altura da garupa (cm).

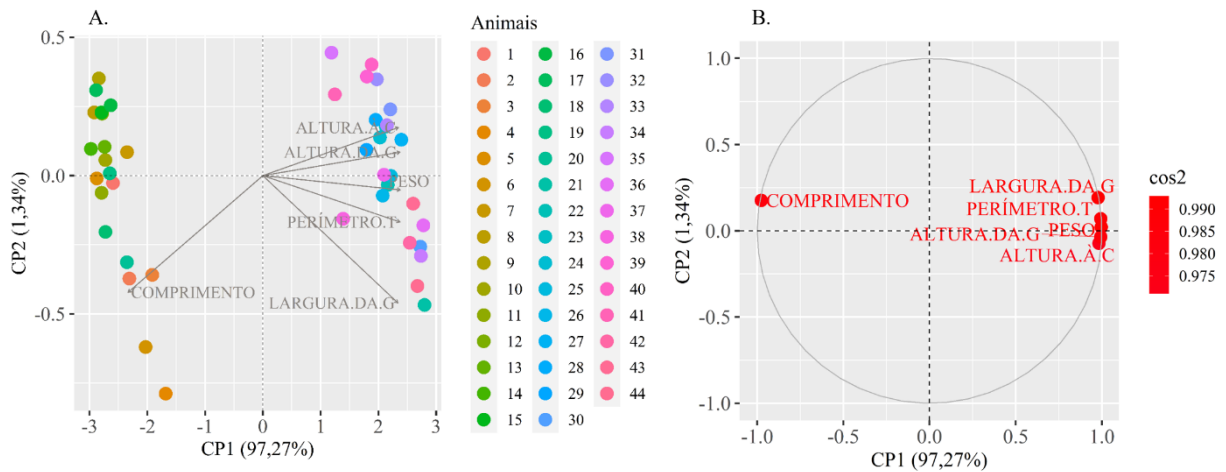
Quando comparam-se os modelos TERM1 e TERM2 quanto as diferenças entre os valores do peso real e do peso estimado (kg) e as variações (%), percebe-se que apesar da diferença máxima entre os valores, ter se apresentado maior para o TERM2, mesmo este tendo o maior R², a vantagem desse modelo denota-se através das variações quando os valores de máxima, mínima e média se mostraram 1,5, 0,4 e 0,6% menores que as variações obtidas pelo TERM1.

É possível notar, na Figura 8A, que as amostras se dividiram, agrupando-se por fase de criação, onde os animais que estavam em fase de crescimento se mantiveram no quadrante esquerdo da figura, enquanto a maior parte dos animais na fase de terminação se concentraram do lado direito, mais próximos as variáveis preditoras. De acordo com essas informações vários autores priorizam a estimativa de peso através das medidas biométricas na fase de terminação (FERNANDES *et al.*, 2019; HE *et al.*, 2021).

Considerando o maior número de amostras para a análise conjunta das fases de

crescimento e terminação, o CP1 representou quase a totalidade das correlações existentes (97,27%). Todas as medidas biométricas observadas apresentaram valores de cos2 entre 0,975 e 0,990 com relação ao peso dos animais (Figura 8B).

Figura 8 - Componentes principais dos animais amostrados nas duas fases de criação relacionados as variáveis predictoras(A); componentes principais das medidas biométricas (comprimento, perímetro torácico, altura da garupa, altura à cernelha e largura da garupa) relacionadas ao peso vivos dos animais (B). ALTURA.À.C: Altura à cernelha; PERÍMETRO T: Perímetro torácico; ALTURA.DA.G: Altura da garupa; LARGURA.DA.G: Largura da garupa



Fonte: Farias (2022)

De acordo com a análise de componentes principais e a correlação entre as variáveis, como modelo global para a predição do peso vivo de suínos, foram utilizadas as variáveis que visivelmente se apresentaram mais próximas da variável resposta (Figura 8B).

O modelo global (Equação 5) foi composto pelas medidas do PT e AG, assim como ocorreu com a Equação 4 referente a fase de terminação.

Equação 5:

$$GLOBAL = -79,86 + 0,985PT + 0,971AG$$

Em que:

GLOBAL = Estimativa de peso vivo do animal (kg);

PT = Perímetro torácico do animal (cm);

AG = Altura da garupa (cm).

Palhares *et al.* (2018) realizaram medidas biométricas em suínos para estimar o

peso vivo em três diferentes faixas de peso, ao aplicar a correlação de Pearson entre as variáveis foi encontrada correlação positiva moderada (0,41) do perímetro torácico com o peso vivo, alta correlação (0,78; 0,72) entre o peso e o perímetro torácico e alta correlação (0,73; 0,85) entre o peso vivo e comprimento corporal e perímetro torácico, respectivamente, para cada uma das faixas de peso, ressaltando que o perímetro torácico é uma medida bastante sensível e precisa quando se trata da predição de peso vivo de suínos, o que reforça os achados deste estudo.

A Tabela 5 mostra R^2 de 0,9897 e Valor-P de 0,000, como pode-se notar na ANOVA, indicando que a equação pode ser aplicada de forma a compor um banco de dados confiáveis para o acompanhamento do peso vivo desses animais.

Tabela 5 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para o modelo global

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Regressão	2	60340,7	30170,4	1973,94	0,000
PT	1	1090,8	1090,8	71,37	0,000
AG	1	361,1	361,1	23,62	0,000
Erro	41	626,7	15,3		
Total	43	60967,4			
Regressão Estatística					
Preditoras do modelo	Coeficientes de regressão				
	β_0	β_1	β_2	R^2	
PT, AG	-79,86	0,985	0,971	0,9897	

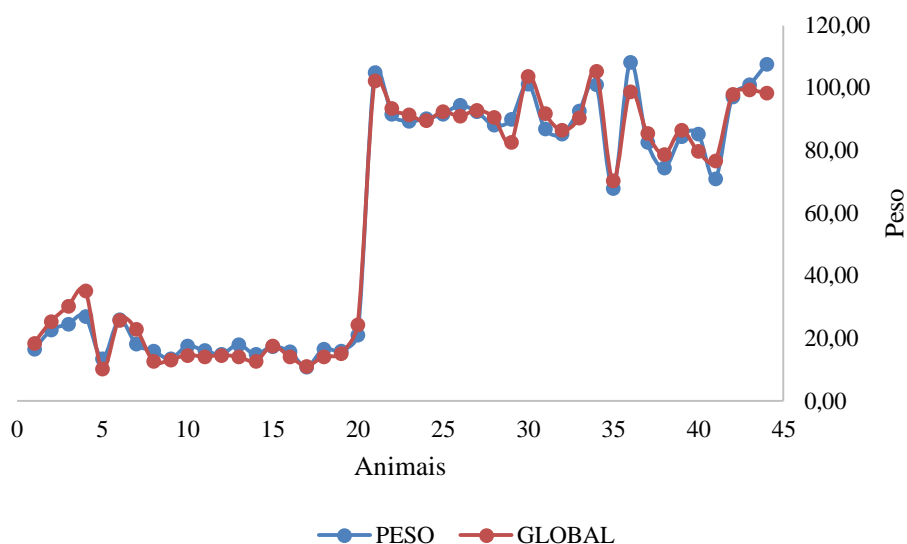
Fonte: Farias (2022)

GL: grau de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio, PT: perímetro torácico (cm), AG: altura da garupa (cm).

Para o modelo global (Figura 9) a diferença máxima obtida foi de 9,29 kg, diferença mínima de 0,04 kg e erro absoluto igual a 2,99 kg, valores que representam respectivamente 29,9, 0,2 e 8,2% de variação entre o peso real e o peso estimado pelo modelo. Para essa análise de diferença e variância existe uma ressalva: como o modelo considera os animais na fase de crescimento (1 a 20) e os animais na fase de terminação (21 a 44), percebe-se que as variâncias para os animais na fase de crescimento são de 29,9, 0,2 e 13,5% para máxima, mínima e média, respectivamente, enquanto para a fase de terminação esses valores são de 8,6, 0,6 e 3,7%. Corroborando a ideia de He *et al.* (2021), Fernandes *et al.* (2020), Cruz (2019) e Fernandes *et al.* (2019) que consideram

de forma prioritária a análise e estimativa de predição para a fase de terminação, pela menor variação e maior confiança nos valores estimados.

Figura 9 - Representação gráfica dos valores do peso real e do peso estimado pelo modelo global para a junção das duas fases de criação



Fonte: Farias (2022)

Ao estimar o peso dos suínos por meio da ingestão de alimento por meio de algoritmos de aprendizagem de máquina, He *et al.* (2021) obtiveram modelos nos quais a maior correlação foi 0,87 e a maior precisão foi 0,89. Diante disso, é possível concluir que com o uso objetivo de medidas biométricas (tais como COMP, PT, AG, AC e LG), análise multivariada e modelos de regressão linear múltipla, como no presente estudo, conseguiu-se uma precisão de 98% com correlação acima de 0,975 entre as variáveis biométricas, maior precisão e correlação do que nos modelos propostos em abordagens alternativas com o uso de ferramentas computacionais mais avançadas.

Levando em consideração medidas biométricas para avaliar o crescimento de suínos de diferentes raças, Formenton *et al.* (2019) perceberam que houve diferenças entre a raça e o sexo em termos de tempos de desenvolvimento para as diferentes partes do corpo medidas, mostrando que os sistemas de criação e uso desses animais têm que ser específicos para cada raça, quando medidas biométricas são as variáveis consideradas. Já Akporhwarho e Iriakpe (2021) utilizaram ACP para determinar a interdependência entre variáveis biométricas relacionadas ao tamanho e conformação corporal, comparando as medidas entre duas raças de suínos.

4 CONCLUSÕES

As medidas biométricas se mostraram uma alternativa confiável para a predição do peso vivo dos suínos nas fases de crescimento e terminação.

A análise de componentes principais auxiliou na seleção das medidas biométricas mais expressivas na correlação com a variável resposta (peso vivo).

Os maiores coeficientes de determinação apresentados pelos modelos de predição propostos para as fases de crescimento e terminação foram de 91,32 e 84,68%, respectivamente, sendo o modelo global de 98,97%, o que denota a confiabilidade e aplicabilidade dos modelos desenvolvidos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para construir um modelo universal, é necessário realizar estudos semelhantes com as mais diversas raças, pois as medidas biométricas podem apresentar ajustes diferentes para cada uma delas.

Os modelos obtidos pelo presente estudo poderão server como base para implementação de sistemas de visão computacional para predição do peso dos animais, a fim de tornar o processo menos custoso, auxiliando nos ajustes dos parâmetros para suínos provenientes de cruzamentos de raças semelhantes.

REFERÊNCIAS

ABED, Fouzia.; BACHIR-BOUIADJRA, Benabdellah; DAHLOUM, Lahouari; YAKUBU, Abdulmojeed; HADDAD, Ahmed; HOMRANI, Abdelkader. Procrustes analysis of forewing shape in two endemic honeybee subspecies *Apis mellifera intermissa* and *Apis mellifera sahariensis* from the Northwest of Algeria. **Biodiversitas Journal of Biological Diversity**, Surakarta, v. 22, n. 1, p. 154-164, 2021.

AKPORHUARHO, Philip O.; IRIAKPE, O. Assessment of body weight and morphological traits of two breed of grower pigs using principal component analysis. **Nigerian Journal of Animal Production**, Ibadan, v. 48, n. 5, p. 1-11, 2021.

AL ARD KHANJI, Mohammad Sheik; LLORENTE, César; FALCETO, Maria Victoria BONASTRE, Cristina; MITJANA, Olga; TEJEDOR, Maria Teresa. Using body measurements to estimate body weight in gilts. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 98, n. 2, p. 362–367, June, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **Relatório anual 2022**. [São Paulo], 2022. 144 p. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2022/05/Relatorio-Anual-ABPA-2022-1.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.

BELKHADEM, S.; TEFIEL, Hakim; BELANTAR, I.; CHAHBAR, M.; GAOUAR, S. B. S. Discriminant analysis on the morphometry of local goats breed in the western of Algeria. **Genetics & Biodiversity Journal**, Tlemcen, v. 3, n. 2, p. 49-56, 2019.

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

CRUZ, Matheus Santana da. **Estimativa de peso vivo por meio de medidas corporais de suínos de raças nativas**. 2019. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

DANCEY, Christine P.; REIDY, John. **Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para windows**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. 2006.

FERNANDES, Arthur Francisco Araújo; DOREA, João R. R.; FITZGERALD, Robert; HERRING, William; ROSA, Guilherme J. M. A novel automated system to acquire biometric and morphological measurements and predict body weight of pigs via 3D computer vision. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 97, n. 1, p. 496-508, 2019.

FERNANDES, Arthur Francisco Araújo; DOREA, João R. R.; VALENTE, Bruno D.; FITZGERALD, Robert; HERRING, William; ROSA, Guilherme J. M. Comparison of data analytics strategies in computer vision systems to predict pig body composition traits from 3D images. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 98, n. 8, p. skaa250, 2020.

FORMENTON, Bruna Dináh Krummenauer; DALLAGO, Bruno Stefano Lima; BRACCINI NETO, José; TANURE, Candice Bergmann e Silva; PERIPOLLI, Vanessa; MCMANUS, Concepta. Allometric growth in brazilian naturalized pigs. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 20, p. 1-13, 2019.

FRAGA, Angelina Bossi; SILVA, Fabiane de Lima.; HONGYU, Kuang; SANTOS, Darlim da Silva ; MURPHY, Thomas Wayne; LOPES, Fernando Brito. Multivariate analysis to evaluate genetic groups and production traits of crossbred Holstein x Zebu cows. **Tropical Animal Health and Production**, Edinburgh, v. 48, n. 3, p. 533-538, 2016.

HE, Yuqing; TIEZZI, Francesco; HOWARD, Jeremy; MALTECCA, Christian. Predicting body weight in growing pigs from feeding behavior data using machine learning algorithms. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 184, n. 1, p. 1-15, 2021.

JUN, Kyungkoo; KIM, Si Jung; JI, Hyun Wook. Estimating pig weights from images without constraint on posture and illumination. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 153, p. 169-176, 2018.

KAISER, Henry F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, Williamsburg, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958.

MAGAÇO, Fernando dos S.; FELIMONE, Dércio E. T. Body conformation of Mozambican local goats explained by principal components analysis. **Revista Científica de Produção Animal**, [Areia], v. 22, n. 2, p. 91-95, 2020.

MARINELLO, Francesco; PEZZUOLO, Andrea; CILLIS, Donato; GASPARINI, Franco.; SARTORI, LUIGI. Application of kinect-sensor for three-dimensional body measurements of cows. *In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION LIVESTOCK FARMING, 7th, 2015, Milan. Proceedings...* Milan: [Università Degli Studi di Milano], 2015. p. 661-669.

MCCRACKEN, Kevin G.; PATON, David C.; AFTON, Alan D. Sexual size dimorphism of the musk duck. **The Wilson Bulletin**, Lawrence, v. 112, n. 4, p. 457-466, 2000.

MEDIOUNI, Rida M.; SAID, Simwana; ABDELKADER, Ameer Ameer; GAOUAR, Semir Bechir Suheil. Phenotypic and morphometric diversity of Indigenous Turkey (Meleagris Gallopavo) from Wilaya of Tlemcen, Northwest of Algeria. **Genetics and Biodiversity Journal**, Tlemcen, v. 4, p. 1-10, 2020.

MEKA, Zibi II; MARTIN, Arthur; MEUTCHIEYE, Félix; TADAKENG, Yannick; FONTEH, Florence. Biometric assessment of blackbelly sheep in Central Africa. **Genetics and Biodiversity Journal**, Argélia, v. 5, n. 3, p. 149-163, 2021.

MORENIKEJI, O. B.; OGUNSHOLA, O. J.; ADU, O. A.; ARO, S. O.; CHINEKE, C. A. Genotype and sex effects on the performance characteristics of pigs. **International Journal of Livestock Production**, Mountain View, CA, v. 10, n. 4, p. 127-134, 2018.

MOSES, O.D. Application of factor analysis scores in a multiple linear regression model for the prediction of liveweight in immature West African dwarf goat (abstract). **Philipp J Vet Anim Sci** 2010, 36 (2): 167-174, 2010.

NEHRANI, Somayeh Hamidi; ASKARI, Mohammad Sadegh; SAADAT, Saeed;

NESTOR, K. E.; ANDERSON, J. W.; PATTERSON, Reda. A. Genetics of growth and reproduction in the turkey. 14. Changes in genetic parameters over thirty generations of selection for increased body weight. **Poultry Science**, Champaign, v. 79, n. 4, p. 445-452, 2011.

OGAH, Danlami Moses. Assessing size and conformation of the body of Nigerian indigenous turkey. **Slovak Journal of Animal Science**, Lužianky, v. 44, n. 1, p. 21-27, 2011.

OGAH, Danlami Moses; HASSAN, I. D.; MUSA, I. S. Path analysis of the relationship between various body measurements and live weight in immature West African Dwarf goats. **Analele IBNA**, Bucuresti, v. 25, p. 72-77, 2009.

PALHARES, Liliane Olímpio; DUTRA JÚNIOR, Wilson Moreira; FERREIRA, Débora Nathália de Moura.; SILVA, Marconi Ítalo Lourenço da; COELHO, André Henrique da Silva Cavalcanti; MELO, R. L. C. Estimativa de peso vivo e características de carcaça utilizando medidas biométricas em suínos. *In*: OLIVEIRA, Antonella Carvalho de (Org.). **Investigação científica e técnica em ciência animal**. 1. ed. Ponta Grossa: Atena, 2018. p. 55-63.

PANDA, Snehasmita; GAUR, Gyanendra Kumar; CHAUHAN, Anuj; KAR, Junaid; MEHROTRA, Arnav. Accurate assessment of body weights using morphometric measurements in Landilly pigs. **Tropical Animal Health and Production**, Edinburgh, v. 53, n. 3, p. 362, 2021.

PANDORFI, Héilton; GUISELINI, Cristiane; ALMEIDA, Gledson L. P.; SILVA, Rodes A. B.; GOMES, Nicolay F. Suinocultura de precisão: visão computacional e tecnologias digitais. **Revista Científica de Produção Animal**, Areia, v.22, n.2, p.73-79, 2020.

ROSÁRIO, M. F.; SILVA, M. A. N.; COELHO, Antonio Augusto Domingos; SAVINO, Vicente José Maria; DIAS, Carlos Tadeu dos Santos. Canonical discriminant analysis applied to broiler chicken performance. **Animal**, Cambridge, v. 2, n. 3, p. 419-424, 2008.

SHI, Chen; ZHANG, Jianlong; TENG, Guanghui. Division of pig growth stages according to body component variation using computer vision. **Pakistan Journal of Zoology**, Lahore, v. 52, n. 3, p. 1071-1078, 2020.

SIEWE et al., 2021 Falta referência

SILVA, Fabyano Fonseca; ROSA, Guilherme J. M.; GUIMARÃES, Simone E. F.; LOPES, Paulo Sávio.; DE LOS CAMPOS, Gustavo. Three-step Bayesian factor analysis applied to QTL detection in crosses between outbred pig populations. **Livestock Science**, Amsterdam, v.142, p.210-215, 2011.

TEIXEIRA, Filipe Ribeiro Formiga; NASCIMENTO, Moisés; NASCIMENTO, Ana Carolina Campana; PAIXÃO, Débora Martins; AZEVEDO, Camila Ferreira; SILVA, Fabyano Fonseca e; CRUZ, Cosme Damião; LOPES, Paulo Sávio; GUIMARÃES, Simone Eliza Facione. Determinação de fatores em características de suínos. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 130-138, 2015.

TEIXEIRA, Filipe Ribeiro Formiga; NASCIMENTO, Moysés; NASCIMENTO, Ana Carolina Campana.; SILVA, Fabyano Fonseca e; CRUZ, Cosme Damião; AZEVEDO, Camila Ferreira; PAIXÃO, Débora Martins; BARROSO, Laís Mayara Azevedo; VERDADO, Lucas Lima; RESENDE, Marcos Deon Vilela de; GUIMARÃES, Simone Eliza Facione; LOPES, Paulo Sávio. Factor analysis applied to genome prediction for high-dimensional phenotypes in pigs. **Genetics and Molecular Research**, Brasília, v.15, n.2, p. 1-10, 2016.

YAKUBU, Abdulmojeed. Principal component analysis of the conformation traits of Yankasa sheep. **Biotechnology in Animal Husbandry**, Belgrade, v. 29, n. 1, p. 65-74, 2013.

YAKUBU, Abdulmojeed; AYOADE, J. A. Application of principal component factor analysis in quantifying size and morphological indices of domestic rabbits. **International Journal of Morphology**, Temuco, v. 27, n. 4, p. 1013-1017, 2009.

YAKUBU, Abdulmojeed; DURVEN, Galle; HAGAN, Julius. Multivariate analysis of body weight, morphometric and thermo-physiological traits of indigenous pigs under tropical conditions. **Genetics and Biodiversity Journal**, Tlemcen, v. 6, n. 1, p. 91-104, 2022.

YAKUBU, Abdulmojeed; IDAHOR, Kingsley Omogiade; HARUNA, Hadiza Salihu; WHETO, Matthew; AMUSAN, Samuel. Multivariate analysis of phenotypic differentiation in Bunaji and Sokoto Gudali cattle. **Acta Agriculturae Slovenica**, Ljubljana, v. 96, n. 2, p. 75-80, 2010.

ZHANG, Jianlong; ZHUANG, Yanrong; JI, Hengyi; TENG, Guanghui. Pig weight and body size estimation using a multiple output regression convolutional neural network: a fast and fully automatic method. **Sensors**, Basel, v. 21, n. 9, p. 3218, 2021.

CAPÍTULO III PREDIÇÃO DO PESO VIVO DE SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO POR MEIO DE IMAGENS 3D

RESUMO

A estimativa do crescimento populacional e o aumento da demanda de produção de alimento trazem consigo a necessidade evidente de sistemas de produção mais eficientes e sustentáveis. Diante disso, a visão computacional desempenha um papel fundamental no desenvolvimento e aplicação de soluções que auxiliam os produtores nas questões que limitam a produção pecuária no Brasil e no mundo. Além de ser estressante para o produtor e para o animal, o sistema de pesagem convencional de suínos causa perdas produtivas e pode comprometer a qualidade da carne, sendo considerada uma prática que não preza pelo bem-estar animal. Objetivou-se desenvolver um procedimento computacional para prever o peso vivo de suínos nas fases de crescimento e terminação, por meio do volume dos animais extraído através do processamento de imagens 3D, como também analisar as medidas biométricas reais e estimadas afim de definir as relações destas com o peso vivo e o volume obtido. O estudo foi conduzido na Fazenda Roçadinho, no município de Capoeiras, localizada região Agreste do estado de Pernambuco. Foram obtidas as variáveis peso, imagens 3D por meio de uma câmera Kinect® - V2 e medidas biométricas de 20 animais na fase de crescimento e 24 animais na fase de terminação, machos e fêmeas, provenientes do cruzamento de Pietrain e Large White, totalizando 44 animais. Para analisar as imagens utilizou um programa desenvolvido em Python, para relacionar as variáveis foram realizadas análises de componentes principais e análises de regressão. O coeficiente de determinação linear entre o peso e o volume foi de 73,3, 74,1 e 97,3% para suínos nas fases de crescimento, terminação e global, mostrando que essa relação é positiva e expressa de forma satisfatória o peso dos animais. A relação entre as variáveis biométricas reais e estimadas teve coeficiente de determinação mais expressivo na fase global, tendo apresentado valores entre 77 e 94%.

Palavras-chave: predição do peso vivo, imagens 3D, visão computacional.

CHAPTER III PREDICTION OF THE LIVE WEIGHT OF PIGS IN THE GROWTH AND FINISHING STAGES THROUGH 3D IMAGES

ABSTRACT

The estimated population growth and the increased demand for food production bring with them the evident need for more efficient and sustainable production systems. In face of this, computer vision plays a fundamental role in the development and application of solutions that help producers with the issues that limit livestock production in Brazil and worldwide. Besides being stressful for the producer and the animal, the conventional pig weighing system causes production losses and can compromise the quality of the meat, being considered a practice that does not value animal well-being. The objective was to develop a computational procedure to predict the live weight of pigs in the growing and termination phases, by analyzing the volume of the animals extracted through 3D image processing, as well as to analyze the real and estimated biometric measurements in order to define their relations with the live weight and the volume obtained. The study was conducted at Roçadinho farm, in the district of Capoeiras, located in the Agreste region of the state of Pernambuco. We obtained the weight variables, 3D images through a Kinect® - V2 camera and biometric measurements of 20 animals in the growing phase and 24 animals in the termination phase, males and females, from the crossing of Pietrain and Large White, totaling 44 animals. To analyze the images, a program developed in Python was used, and to relate the variables, major component analysis and regression analysis were performed. The linear determination coefficient between weight and volume of the 73.3, 74.1 and 97.3% for pigs in the growing, termination and global phases, showing that this relationship is positive and expresses satisfactorily the weight of the animals. The relationship between real and estimated biometric variables had a more expressive determination coefficient in the global phase, presenting values between 77 and 94%.

Keywords: liveweight prediction, 3D images, computer vision.

1 INTRODUÇÃO

Em 2050, a população humana global está estimada em mais de 9 bilhões, consumindo entre 50 e 60% mais alimentos (FAO, 2009) em comparação aos padrões de consumo atuais. Nesse cenário, o Brasil ocupa o 4º lugar como maior produtor e exportador de carne suína do mundo (ABPA, 2022), com a tendência de crescimento para os próximos anos.

Diante disso, o consumo potencial de proteína animal tende a crescer de forma significativa, mas para apresentar desenvolvimento satisfatório e consciente se faz necessário a aplicação de ferramentas de pecuária de precisão que auxiliem na performance produtiva, com ênfase no bem-estar animal. De acordo com Dawkins *et al.* (2017) o bem-estar animal é tanto um fator ético com consequências econômicas, quanto um fator econômico que carrega peso moral; Broom (2010) reitera que as pessoas consideram que têm obrigações com os animais que utilizam, seja para companhia, transporte ou produção de alimentos.

Nos sistemas de produção animal existem vários processos que apresentam estratégias obsoletas que podem ser substituídas para diminuir as perdas produtivas, evitar estresse e incômodo aos animais, promover o bem-estar e agregar valor ao produto final, um desses processos é a pesagem de suínos. O método mais comum praticado é a pesagem direta por uma balança eletrônica abrigada na instalação. Esse processo costuma ser estressante tanto para o animal quanto para o criador, por exigir mão de obra para a condução dos animais ao centro de manejo e acesso a balança (JUN; KIM; JI, 2018; MARINELLO *et al.*, 2015).

A problemática vem sendo pesquisada a mais de três décadas, onde já se falava sobre métodos não invasivos para estimativa de peso vivo do suíno através da análise e processamento de imagens com processos supervisionados (SCHOFIELD, 1990) e não supervisionados (SCHOFIELD *et al.*, 1999; MARCHANT; SCHOFIELD; WHITE, 1999), ou mesmo alternativas com abordagens diferentes como sistema de pesagem através de patas dianteiras (RAMAEKERS *et al.*, 1995).

Acompanhar o ganho de peso é importante para otimizar o manejo e aumentar a produção, pois pode ser usado para determinar as taxas de crescimento dos animais e possíveis desafios sanitários. A identificação rápida de mudanças no ganho de peso médio diário é fundamental para o gerenciamento eficiente da nutrição de suínos, eficiência alimentar e detecção de surtos de doenças (YU; LEE; MOROTA, 2021), além de auxiliar na definição das fases de criação e garantir maior exatidão na previsão de venda e tempo

de abate.

Nos últimos anos, alguns produtores adicionaram sensores dentro do alimentador automático para pesar e registrar o peso do suíno em tempo real. A maioria desses aparelhos são caros e propensos à erosão por contato com os dejetos. Além disso, para difundir o uso, eles precisam desconstruir a suinocultura tradicional (LI *et al.*, 2013). Contudo, a aplicação de novas ferramentas com a mesma finalidade é necessária devido ao avanço das tecnologias, com o objetivo de modernizar, simplificar e baratear o processo quanto a operação e aos custos computacionais.

Sistemas automáticos de imagens por computador podem auxiliar os produtores e pesquisadores a resolver problemas de monitoramento de animais, por exemplo, identificação de padrões e sinais comportamentais, pesagem e outras tarefas rotineiras demoradas e onerosas, que podem se tornar mais objetivas, minimizando custos, por meio do processamento de imagens (PANDORFI *et al.*, 2020). Por isso, a visão computacional se tornou uma ferramenta bastante utilizada, que fornece resultados promissores (FERNANDES *et al.*, 2019; SEVERO; WEIZENMANN, 2020) em se tratando de vídeo (FERNANDES *et al.*, 2019; KASHIHA *et al.*, 2014), imagens bidimensionais (WONGSRIWORAPHON; ARNONKIJPANICH; PATHUMNAKUL, 2015) e tridimensionais (KONGSRO, 2014; MA *et al.*, 2020).

Em meio a essas tecnologias, o uso de câmeras de profundidade auxilia na precisão e na extração de características dos animais, além de evitar algumas limitações encontradas no processamento de imagens 2D, relacionadas a iluminação do local e a cor da pelagem dos animais, se mostrando um instrumento eficiente na estimativa e dimensionamento de partes (SILVA *et al.*, 2021) e do corpo do animal por completo (YU; LEE; MOROTA, 2021).

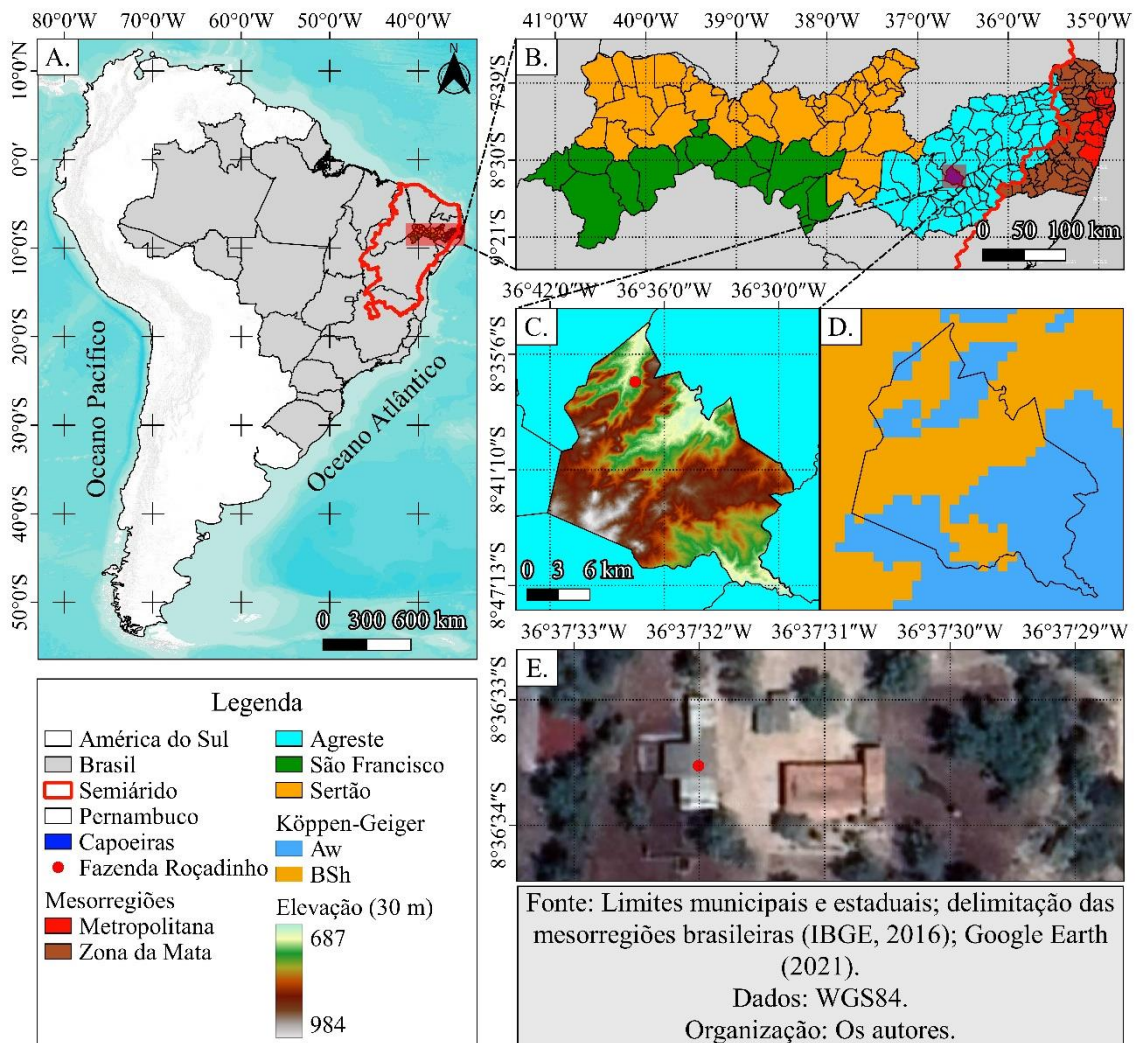
Diante disto, objetivou-se desenvolver um programa computacional para prever o peso vivo de suínos nas fases de crescimento e terminação, por meio do volume dos animais extraído através do processamento de imagens 3D, visto que esse tipo de imagem dispõe de maiores informações incluindo as distâncias (eixo z) e proporciona processos de segmentação mais precisos, como também analisar as medidas biométricas reais e estimadas a fim de definir as relações destas com o peso vivo e o volume obtido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Fazenda Roçadinho, no município de Capoeiras, localizada na Microrregião do Vale do Ipojuca, Mesorregião Agreste do estado de

Pernambuco, latitude de 8° 36'S, longitude de 36° 37'W e altitude de 850 m (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como semiárido (Bsh).

Figura 1 - América do sul (A); Mesorregiões de Pernambuco (B); Hipsometria de Capoeiras (C); Classificação de Köppen (D); Geolocalização da Fazenda Roçadinho (E)



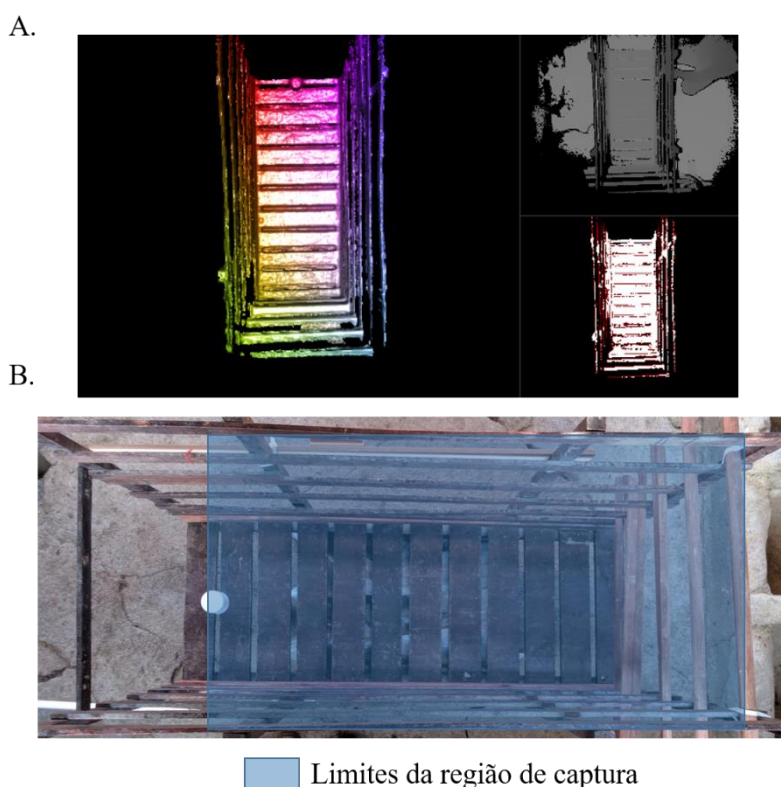
Fonte: Farias (2022)

Foram obtidas as variáveis peso, imagens 3D e medidas biométricas de 20 animais na fase de crescimento e 24 animais na fase de terminação, machos e fêmeas, provenientes do cruzamento de Pietrain e Large White, totalizando 44 animais. A condução da pesquisa foi certificada pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), sob protocolo nº 9693071021 – ID 000921, de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, em consonância com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), aprovada pela CEUA/UFRPE em 15

de dezembro de 2021.

A aquisição dos dados foi realizada em dois momentos: para a fase de crescimento (dezembro de 2021) e para a fase de terminação (março de 2022). Antes de iniciar o registro das imagens dos suínos na unidade de produção foram realizados testes no Laboratório de Ambiência da Universidade Federal Rural de Pernambuco para definir as melhores condições de obtenção das imagens, como posicionamento da estrutura e disposição da câmera de profundidade para o imageamento tridimensional do animal. Ao chegar no local do experimento, foram capturadas imagens sem os animais sob a estrutura para ajustar e assegurar que os suínos estariam na área de captura da câmera (Figura 2).

Figura 2 - Tela de captura do software mostrando o brete vazio (A); vista superior do brete de contenção e demarcação da região de captura da imagem (B)

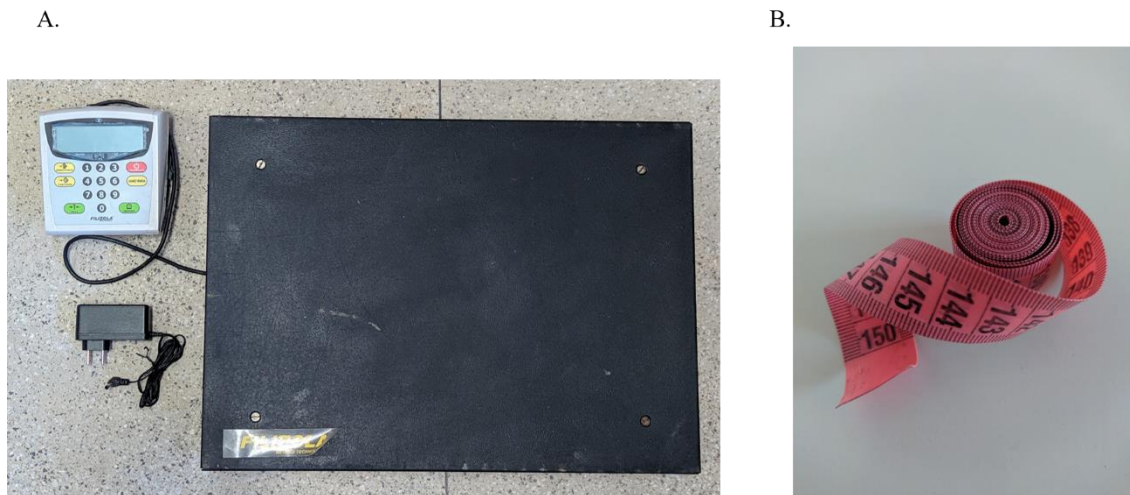


Fonte: Farias (2022)

Os suínos foram conduzidos a um brete de contenção acoplado à balança eletrônica de plataforma Filizola com carga máxima de 300 kg, carga mínima de 2 kg e precisão igual a 100 g (Figura 3A), onde foram realizadas as pesagens, captura das imagens através do SDK (Kinect for Windows Software Development Kit) versão 7.1 executado no notebook conectado à câmera (Figura 4) e as medições biométricas reais por meio de fita métrica simples para costura, feita de material plástico, de 1,5 metros (150 x 2 cm) enumerada em centímetros, com a graduação dos milímetros (Figura 3B), e

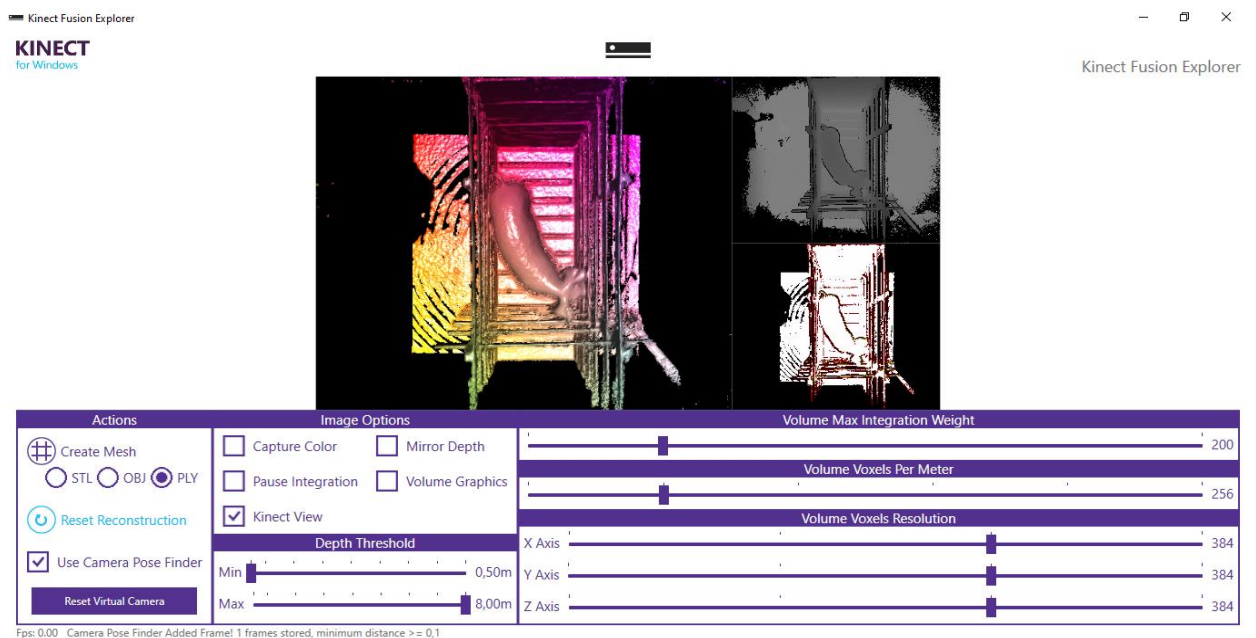
as estimadas através da análise das imagens de profundidade. Após a obtenção das informações necessárias, os suínos foram devidamente identificados e liberados.

Figura 3 - Imagem da balança eletrônica Filizola (A) e fita métrica plástica (B)



Fonte: Farias (2022)

Figura 4 - Notebook executando o SDK (Kinect Fusion Explorer): vista da janela de captura das imagens 3D



Fonte: Farias (2022)

O peso dos animais foi considerado após a estabilização da balança eletrônica, logo que os suínos entravam no brete, em seguida os valores foram anotados em planilha. A captura das imagens foi realizada através de uma câmera de profundidade (Microsoft

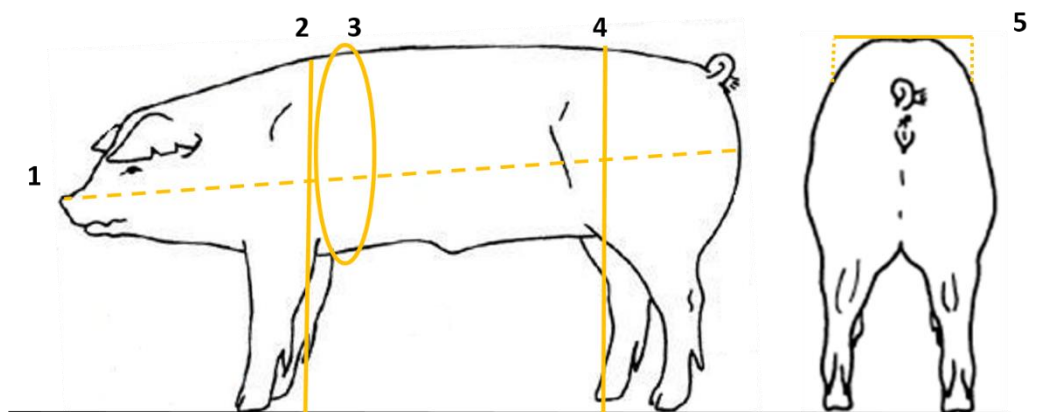
Kinect® - V2) instalada no telhado da baía, à 1,73 m do do piso do brete (Figura 5). A extração das medidas biométricas contaram com o comprimento do corpo (medido desde a ponta do focinho até à ponta da nádega, cm), perímetro torácico (medido desde a zona de maior declive do garrote passando pela base ventral do esterno, cm), altura à cernelha (medida desde o piso ao ponto mais alto do garrote, cm), altura da garupa (medida desde o piso à tuberosidade ilíaca externa - ponta da anca, cm) e largura da garupa (medida entre ambas as tuberosidades ilíacas externas, cm), que se deu de forma manual, com o auxílio de fita métrica (Figura 6).

Figura 5 - Vista lateral (A) e frontal (B) do brete acoplado à balança e a posição da fixação do Kinect no telhado da instalação (círculo vermelho)



Fonte: Farias (2022)

Figura 6 - Esquema das marcações das medidas manuais dos suínos. 1 - comprimento do corpo; 2 - altura à cernelha; 3 - perímetro torácico; 4 - altura da garupa e; 5 - largura da garupa

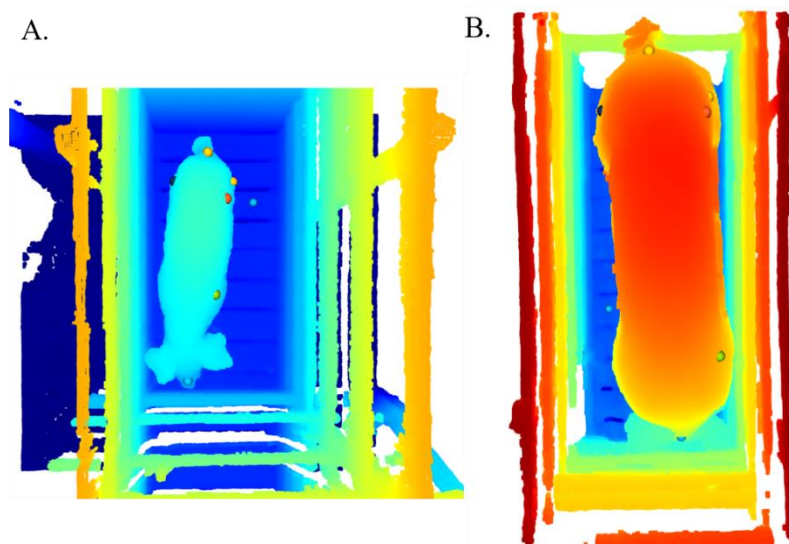


Fonte: Farias (2022)

Para analisar as imagens utilizou-se o *PyCharm Community Edition* 2020.1.4, onde foram desenvolvidos os códigos na linguagem Python utilizando a biblioteca Open3D, para de extrair parâmetros biométricos e obter o volume (m^3) dos suínos.

Para aquisição dos parâmetros biométricos através da definição de pontos na imagem 3D, utilizou-se a imagem de captura, sem pré-processamento. Foram marcados pontos e através dos pares de pontos foram calculadas as distâncias entres eles, utilizando os eixos x, y e z, para os valores do comprimento do corpo, altura à cernelha, altura da garupa e largura da garupa (Figura 7).

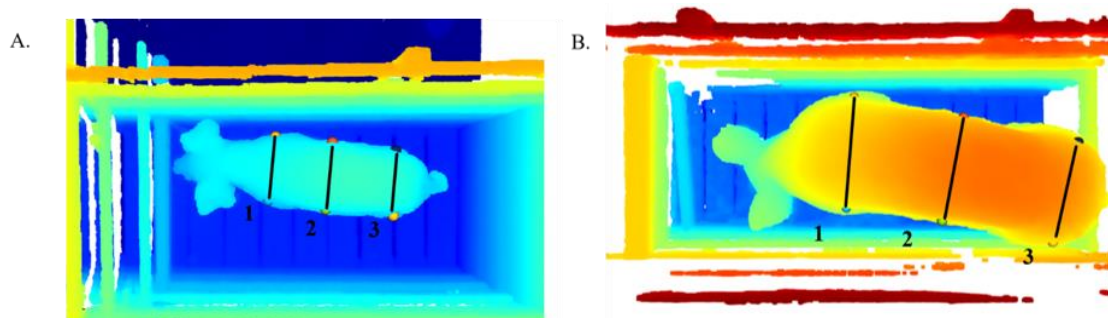
Figura 7 - Marcação dos pontos para cálculo das medidas biométricas nas fases de crescimento (A) e terminação (B)



Fonte: Farias (2022)

O perímetro torácico foi obtido por meio de relações matemáticas, considerando o cálculo do perímetro da circunferência, assumindo que o corpo do animal seja próximo a geometria do cilindro, foram traçados três pares de pontos, um mais próximo a cabeça (1), um no meio (2) e um mais próximo a calda do animal (3) (Figura 8), foram calculadas as distâncias entre os pontos para obter o raio da circunferência, após obter os três perímetro, considerou-se a média deles e analisou-se o perímetro da circunferência para cada uma das medidas e para a média das três, utilizando o conjunto de dados que apresentou maior R^2 , assumindo como sendo o valor do perímetro torácico.

Figura 8 - Marcação dos três pares de pontos para o cálculo do perímetro torácico na fase de crescimento (A) e terminação (B)



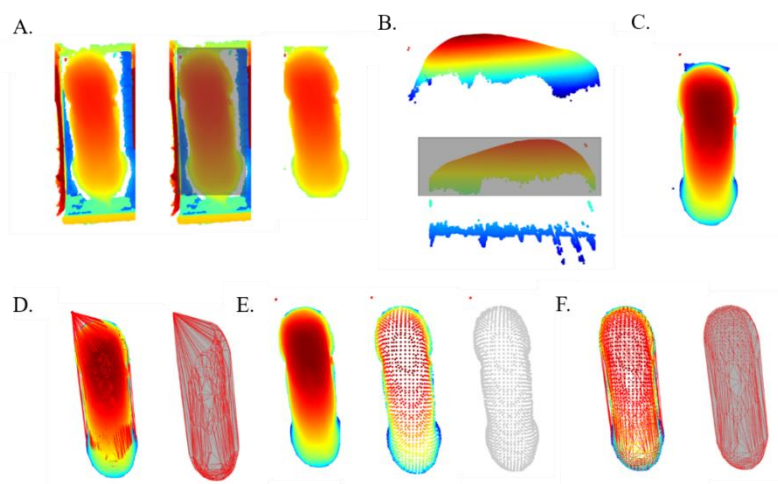
Fonte: Farias (2022)

Para a fase de crescimento foi considerado o conjunto de dados da medida 3 (medida que se aproxima da largura da garupa), para a fase de terminação o conjunto de medidas que melhor estimou o perímetro torácico foi a medida 1 (medida aproximada da largura da cernelha) e para o conjunto de dados global, utilizou-se o conjunto de dados da média entre os três pares de pontos.

Essas medidas foram comparadas as medidas biométricas reais e a relação entre elas foi utilizada para descrever a confiabilidade das informações adquiridas através das imagens.

Após a captura dos pontos, afim de diminuir a interferência dos demais elementos para definir a zona de interesse da imagem (o corpo do animal), foram realizados dois pré-processamentos: dois cortes, um superior e um lateral, e a remoção de out liers para posterior definição do casco convexo (Figura 9), que após ser definido, resultou no volume do corpo do animal.

Figura 9 - Aplicação dos cortes superior (A), lateral (B) e resultado da aplicação dos dois cortes para delimitação do corpo do suíno (C); Criação do casco convexo com out liers na imagem (D), marcação e remoção dos out liers (E) e criação do casco convexo com o corpo do animal sem out liers (F)



Fonte: Farias (2022)

Para avaliar os dados realizou-se análise de regressão entre os pares das variáveis que expressavam as mesmas medidas a fim de perceber o grau de fidelidade entre as medidas biométricas reais (COMP, PT, AG, AC, LG) extraídas de forma convencional e as medidas estimadas, a mesma análise foi realizada comparando o peso vivo ao volume do corpo do animal. Esses pares foram submetidos a análise de estatística descritiva, análise de variância (ANOVA), obtendo as medidas de máximo, mínimo, média e variação, com a finalidade de expressar os resultados com o teste de significância de 99% (Valor-P < 0,01), assumindo que as respostas obtidas apresentem erro menor que 1% de probabilidade.

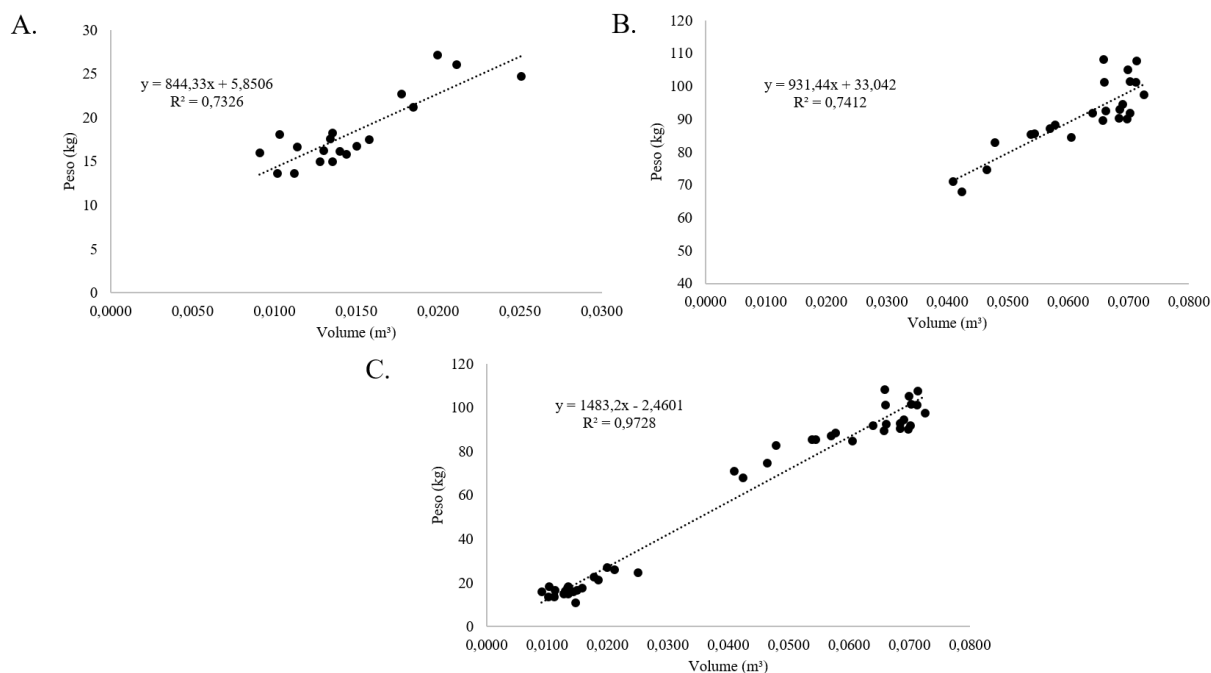
Para determinar as correlações entre o as medidas biométricas, o peso e o volume dos animais, realizou-se a análise multivariada, por meio da técnica de análise de componentes principais (ACP). Para validação da ACP foi adotado o critério de Kaiser (1958), no qual, admite-se que os autovalores das componentes devem ser superiores a 1, para a projeção dos gráficos bidimensionais. A rotação Varimax, ou seja, uma rotação ortogonal, foi aplicada nas componentes principais para obter melhor interpretação física das variáveis e maximizar a correlação das variáveis e componentes (NEHRANI *et al.*, 2020). O software empregado para a análise de componentes principais foi o OriginLab versão 8.6.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisadas 44 imagens 3D, uma por animal. Na fase de crescimento os animais apresentaram peso médio igual a $17,9 \pm 4,2$ kg, na fase de terminação o peso médio foi igual a $90,9 \pm 10,3$ kg.

A relação do peso vivo (PV) (kg) com o volume (VOL) (m³) dos animais (Figura 10) para as fases de crescimento, terminação e a junção das duas fases (global), apresentou coeficiente de determinação (R²) de 0,7326, 0,7412 e 0,9728, respectivamente. Tendo melhor relação funcional entre as variáveis para o conjunto global de dados, como percebido por Condotta *et al.* (2018) que obtiveram R² de 0,9907 e Li *et al.* (2022) com R² igual a 0,958, mostrando que mais de 95% da variabilidade da massa dos animais pôde ser explicada pelo volume obtido por meio dos dados fornecidos pelo sensor Kinect®, sendo estes coeficientes de determinação maiores do que o obtido por Kashiha *et al.* (2014) na regressão linear (R² = 0,871) em estudo similar.

Figura 10 - Representação gráfica da relação do peso vivo dos suínos (Peso, kg) com o Volume (m³) para as fases de crescimento (A); terminação (B) e global (C)



Fonte: Farias (2022)

O modelo linear foi o que melhor se ajustou as condições observadas além de explicar a natureza do conjunto de dados e seguir a curva de crescimento dos animais. O teste estatístico com a significância de 99% (Valor-P < 0,01), Valor-P igual a 0, reafirmam a confiabilidade e boa representatividade das medidas reais do modelo para a porcentagem definida (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para a estimativa do peso vivo dos animais nas fases de crescimento (CRESC), terminação (TERM) e GLOBAL

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Regressão - CRESC	1	218,929	218,929	46,5745	0,000
Erro	17	79,9107	4,70063		
Total	18	298,84			
Regressão - TERM	1	1886,9	1886,9	63,0065	0,000
Erro	22	658,85	29,9477		
Total	23	2545,75			
Regressão - GLOBAL	1	59311,1	59311,1	1503,98	0,000

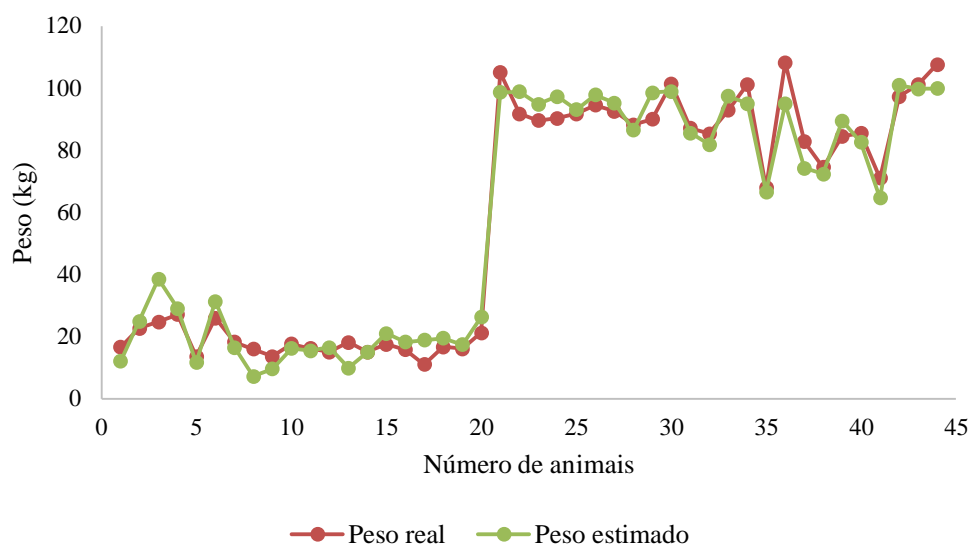
Erro	42	1656,31	39,4361
Total	43	60967,4	

Fonte: Farias (2022)

GL: grau de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio, CRESC: crescimento, TERM: terminação, GLOBAL: junção das fases de crescimento e terminação.

Por meio da equação gerada pelo modelo através da análise de regressão e aplicada aos valores do volume para a estimativa do peso nas duas fases de criação, quando comparados os pesos estimados com os pesos reais (Figura 11), obteve-se diferença média de 4,38 kg. Utilizando imagens de câmera de vídeo Kashiha *et al.* (2014) obteve precisão igual a 96,2% com erro de 1,23 kg na predição do peso individual de suínos, enquanto Li et al. (2022) utilizando uma câmera Kinect e parâmetros corporais obteve uma equação de predição com erro médio igual a 2,961 kg. De acordo com esses resultados o modelo é confiável e representativo, apresentando menor variância nos dados referentes a fase de terminação.

Figura 11 - Representação gráfica do peso vivo estimado através do volume e o peso vivo real obtido através de balança eletrônica para o conjunto de dados global



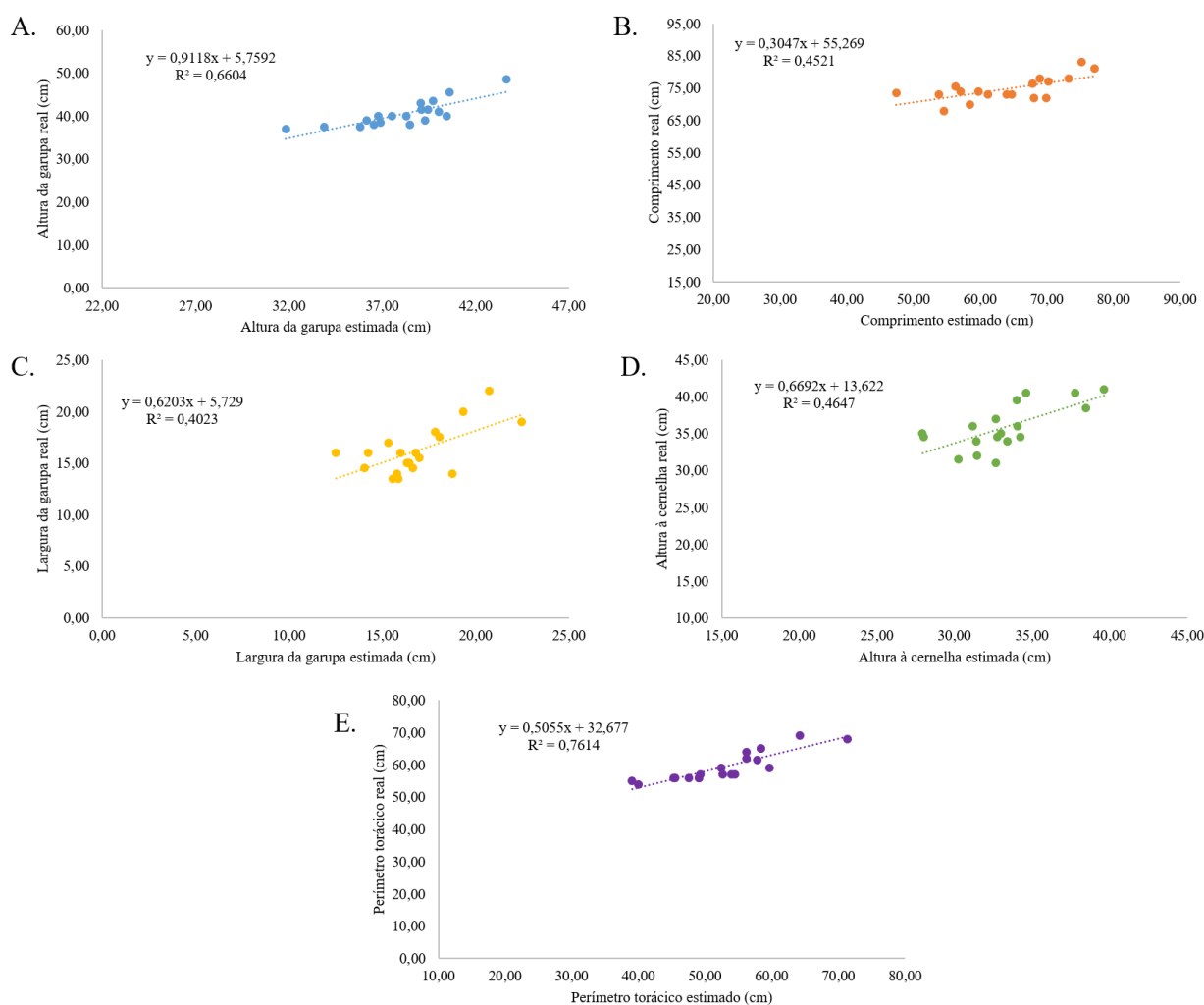
Fonte: Farias (2022)

Sabendo-se dos hábitos culturais da região quanto a comercialização do peso vivo, desconsidera-se aproximadamente 5% do peso do animal referente a cabeça (SILVEIRA *et al.*, 1988), a variância média do modelo fica em torno de 9%, o que compensa em parte essa perda, tornando a predição mais ajustada. Semelhante a Severo e Weizenmann

(2020) que desenvolveram um sistema para identificar a massa de suínos através das ferramentas da visão computacional, com 8% de variação do valor real.

De acordo com a análise de regressão realizada para as variáveis biométricas, quando comparados os valores reais aos obtidos por meio da imagem 3D, para a fase de crescimento, foram observados os R^2 de 0,6604, 0,4521, 0,4023, 0,4647 e 0,7614 referentes a a altura da garupa, comprimento, largura da garupa, altura a cernelha e perímetro torácico, respectivamente (Figura 12).

Figura 12 - Representação gráfica das regressões com linha de tendência, equação e coeficiente de determinação (R^2) para altura da garupa (A), comprimento (B), largura da garupa (C), altura a cernelha (D) e perímetro torácico (E) na fase de crescimento

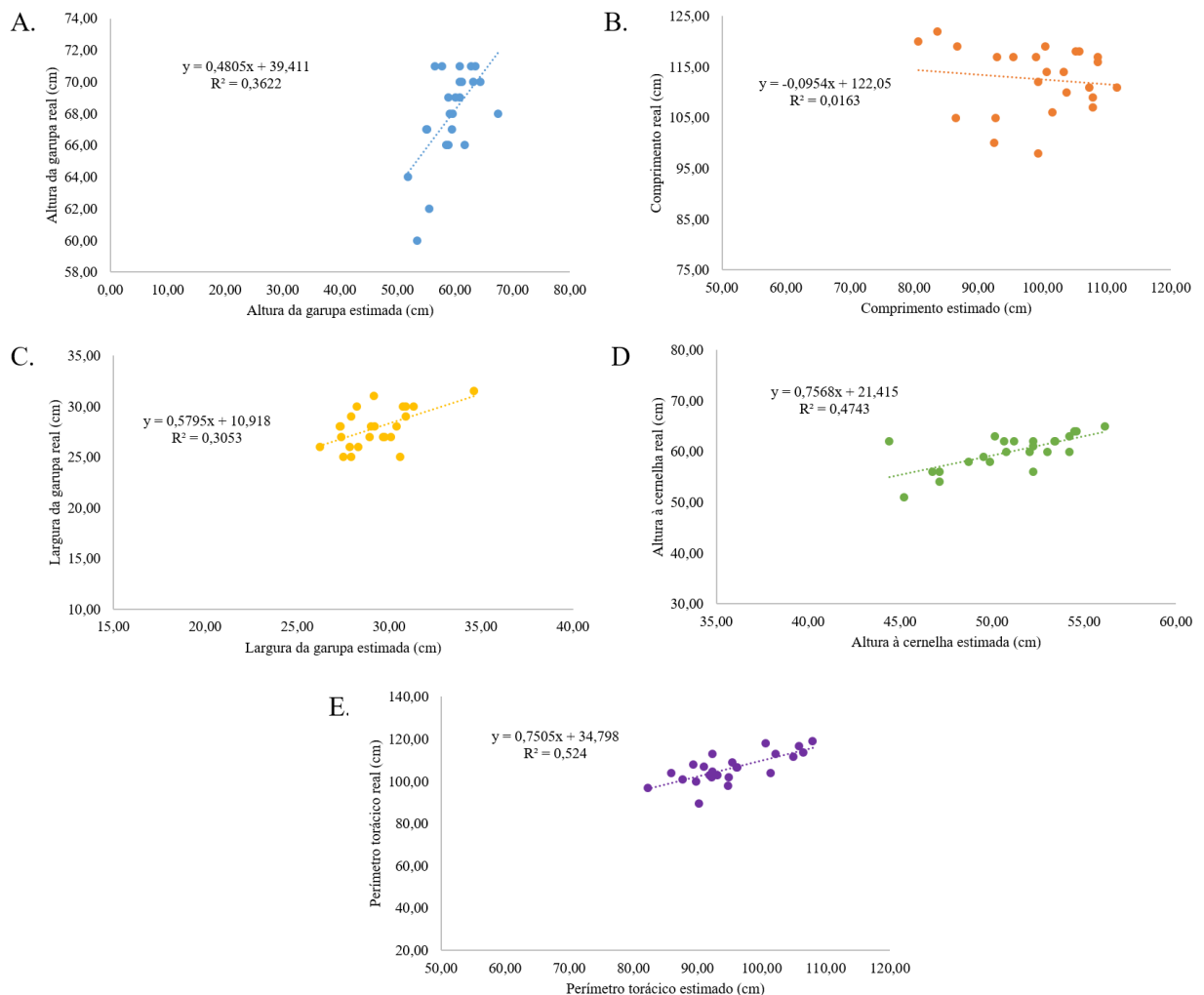


Fonte: Farias (2022)

Para a fase de terminação, foram observados os R^2 de 0,3622, 0,0163, 0,3053,

0,4743 e 0,524 referentes a altura da garupa, comprimento, largura da garupa, altura a cernelha e perímetro torácico, respectivamente (Figura 13). Esses valores de R^2 abaixo de 60% podem indicar a necessidade de um banco de dados maior, ou mesmo uma estratégia de análise e extração de características que se adeque melhor as condições apresentadas. Diferente do encontrado por Shi, Teng e Li (2016) que através de um sistema alimentado por duas câmeras de vistas distintas verificaram que o comprimento do corpo e a altura da cernelha foram estimados com o R^2 variando de 0,91 a 0,98.

Figura 13 - Representação gráfica das regressões com linha de tendência, equação e coeficiente de determinação (R^2) para altura da garupa (A), comprimento (B), largura da garupa (C), altura a cernelha (D) e perímetro torácico (E) na fase de terminação

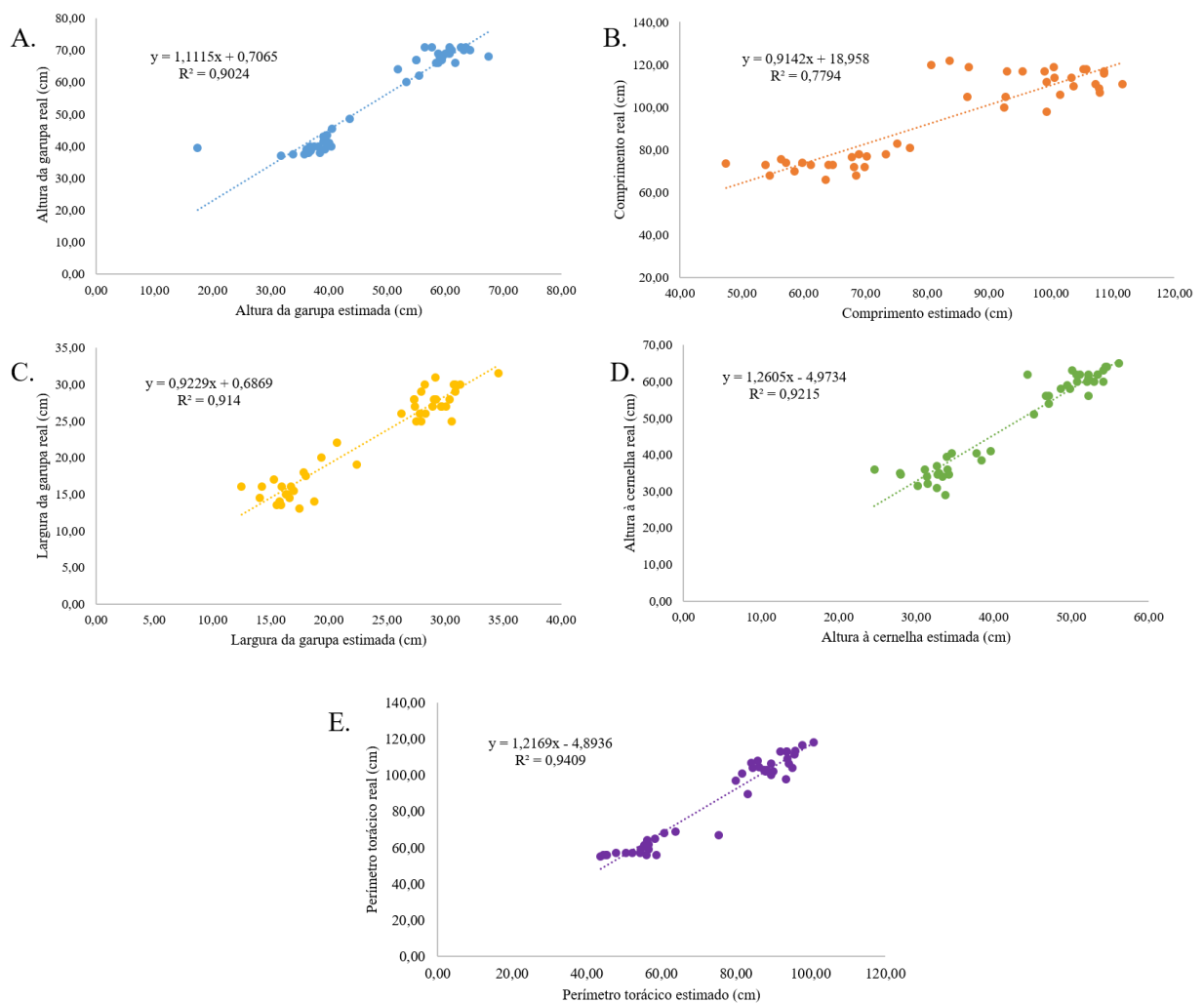


Fonte: Farias (2022)

Quando comparadas as medidas biométricas reais com as medidas estimadas,

considerando o conjunto de dados global, foram obtidos coeficientes de determinação de 0,9024, 0,7794, 0,914, 0,9215 e 0,9409 referentes a altura da garupa, comprimento, largura da garupa, altura a cernelha e perímetro torácico, respectivamente (Figura 14). Os valores dos coeficientes de determinação acima de 77% para o comprimento e maior que 90% para PT, AG, AC e LG, indicam que o sistema de aquisição das medidas biométricas tem uma boa representatividade dos dados reais, como o estudo semelhante realizados por Ma et al. (2020) relacionando medidas corporais a estimativa do peso vivo apresentaram R^2 variando de 0,95 a 0,98, com o uso de sistemas de visão computacional para prever características morfométricas.

Figura 14 - Representação gráfica das regressões com linha de tendência, equação e coeficiente de determinação (R^2) para altura da garupa (A), comprimento (B), largura da garupa (C), altura a cernelha (D) e perímetro torácico (E) para o global



Fonte: Farias (2022)

A variação dos coeficientes de determinação aproximados entre 0,78 e 0,94,

mostra que para os dados globais, a estimativa das medidas biométricas através da análise de imagens 3D pode ser considerada uma fonte de informação confiável, além de ter apresentado significância de 99% (Valor-P < 0,01), Valor-P igual a 0 (Tabela 2). Valores próximos foram encontrados por Yu, Lee e Morota (2021) que utilizando análise de imagem e relações biométricas, observaram valores entre 0,72 a 0,98 para previsões de um dia à frente do peso corporal dos suínos.

Tabela 2 - Análise de variância (ANOVA) e resultados dos coeficientes de regressão para a relação das variáveis biométricas reais e estimadas dos animais para os dados globais

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-P
Regressão - COMP	1	13725,3	13725,3	148,365	0,000
Erro	42	3885,43	92,5103		
Total	43	17610,7			
Regressão - AG	1	7783,2	7783,2	388,508	0,000
Erro	42	841,409	20,0336		
Total	43	8624,61			
Regressão - LG	1	1572,27	1572,27	446,405	0,000
Erro	42	147,927	3,52207		
Total	43	1720,2			
Regressão - AC	1	6477,49	6477,49	493,125	0,000
Erro	42	551,694	13,1356		
Total	43	7029,18			
Regressão - PT	1	22556,6	22556,6	653,29	0,000
Erro	41	1415,64	34,5277		
Total	42	23972,3			

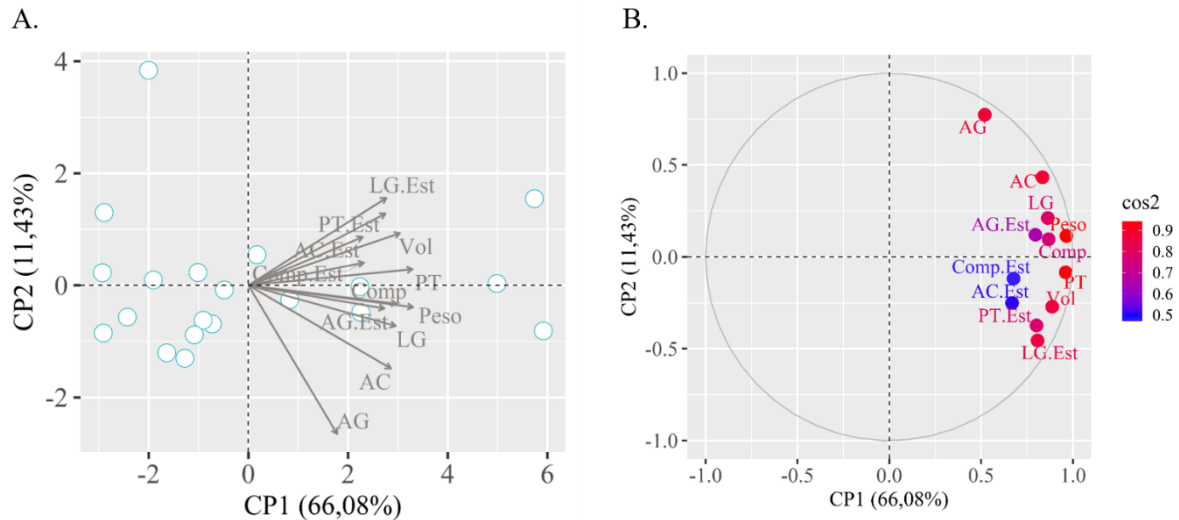
Fonte: Farias (2022)

GL: grau de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: quadrado médio, COMP: comprimento (cm), AG: altura da garupa (cm), LG: largura da garupa (cm), AC: altura à cernelha (cm), PT: perímetro torácico (cm).

Na Figura 15A é apresentada a análise de componentes principais (ACP) e análise de correlação por componentes principais (CCP) (Figura 15B) das medidas biométricas reais e estimadas, comprimento (COMP, cm), comprimento estimado (Comp.Est, cm), perímetro torácico (PT, cm), perímetro torácico (PT.Est, cm), altura da garupa (AG, cm), altura da garupa (AG.Est, cm) altura à cernelha (AC, cm), altura à cernelha (AC.Est, cm), largura da garupa (LG, cm), largura da garupa (LG.Est, cm), peso vivo (Peso, kg) e volume dos animais (VOL, m³) na fase de crescimento.

Figura 15 - Componentes principais dos animais amostrados na fase de crescimento relacionados

as variáveis estudadas (A); correlação por componentes principais das medidas biométricas reais e estimadas relacionadas ao peso vivo e volume dos animais (B). Comp: comprimento (cm), AG: altura da garupa (cm), LG: largura da garupa (cm), AC: altura à cernelha (cm), PT: perímetro torácico (cm), Comp.Est: comprimento estimado (cm), AG.Est: altura da garupa estimada (cm), LG.Est: largura da garupa estimada (cm), AC.Est: altura à cernelha estimada (cm), PT.Est: perímetro torácico estimado (cm), Vol: volume



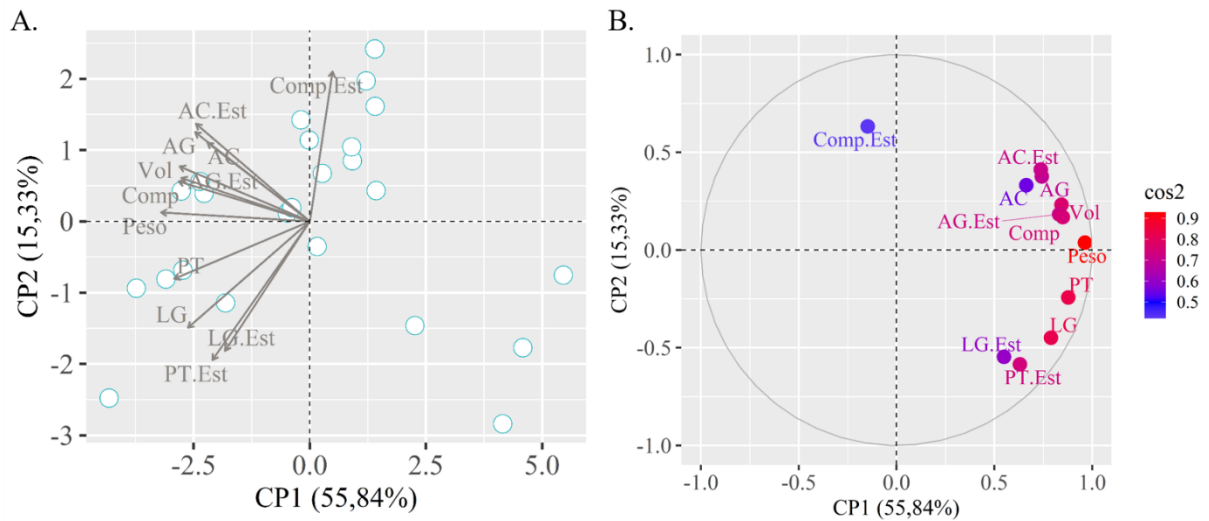
Fonte: Farias (2022)

Na fase de crescimento observa-se através da ACP que a componente principal 1 (CP1) é responsável por representar 66,08% da correlação existente entre as variáveis, enquanto que a componente principal 2 (CP2) é responsável por apenas 11,43%, diante disso, o acumulativo da variância total das variáveis estudadas foi de 77,51% (Figura 15B). A correlação das componentes principais, se baseia na correlação de Pearson (alta correlação – coeficiente tende a 1 ou -1) é apresentada na escala de cor, sendo perceptível o coeficiente de correlação (cos2) menor que 0,7 apresentada pelas variáveis estimadas AC.Est, Comp.Est, PT.Est e AG.Est. Nesse mesmo cenário, as variáveis que apresentaram coeficiente de correlação próximos a 0,9 foram Peso, PT, Vol, AC e AG.

A Figura 16A apresenta de forma mais expressiva o agrupamento dos animais em torno das variáveis observadas, quando comparado a fase de crescimento, mostrando que as medidas foram mais comuns entre as amostras, tornando as relações entre elas mais expressivas.

Figura 16 - Componentes principais dos animais amostrados na fase de terminação relacionados as variáveis estudadas (A); correlação por componentes principais das medidas biométricas reais e estimadas relacionadas ao peso vivo e volume dos animais (B). Comp: comprimento (cm), AG: altura da garupa (cm), LG: largura da garupa (cm), AC: altura à cernelha (cm), PT: perímetro torácico (cm), Comp.Est: comprimento estimado (cm), AG.Est: altura da garupa estimada (cm), LG.Est: largura da garupa estimada (cm), AC.Est: altura à cernelha estimada (cm), PT.Est:

perímetro torácico estimado (cm), Vol: volume

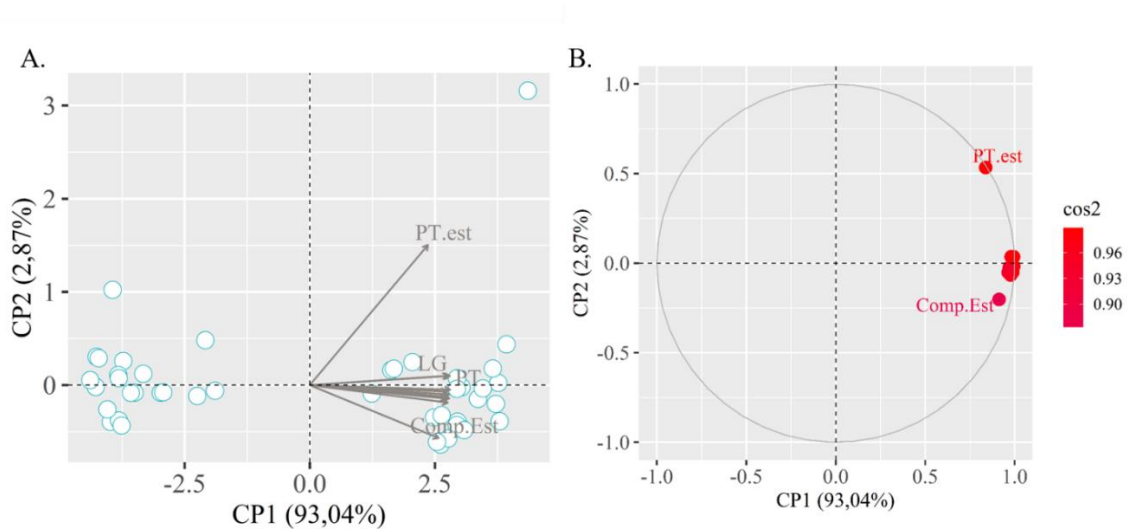


Fonte: Farias (2022)

Observa-se através da ACP que a componente principal 1 (CP1) é responsável por representar 55,84% da correlação existente entre as variáveis, enquanto que a componente principal 2 (CP2) é responsável por apenas 15,33%, diante disso, o acumulativo da variância total das variáveis estudadas foi de 71,17% (Figura 16B). A escala de cor mostra que a maior correlação foi apresentada pelo Peso, LG e PT com valores próximos a 0,9; AG, AG.Est, AC.Est, Vol, Comp e PT.Est se mantiveram com valores entre 0,8 e 0,6. As variáveis que apresentaram menor correlação foram, Comp.Est, LG.Est e AC, com valores menores que 0,6.

Percebe-se uma tendência a divisão de dois grupos quanto a disposição dos animais (Figura 17A) o que provavelmente se trata das duas fases de criação amostradas.

Figura 17 - Componentes principais dos animais amostrados na global relacionados as variáveis estudadas (A); correlação por componentes principais das medidas biométricas reais e estimadas relacionadas ao peso vivo e volume dos animais (B). Comp.Est: comprimento estimado (cm), PT.Est: perímetro torácico estimado (cm)



Fonte: Farias (2022)

O acumulado da CP1 (93,04%) e a CP2 (2,87%) é igual a 95,91% da correlação existente entre as variáveis (Figura 17B), nesse cenário se traduz na variância explicada pela CP1. O conjunto de variáveis global apresentou o \cos^2 expressivo que variou de 0,90 a 0,96. O Comp.Est foi a variável que mesmo apresentando uma correlação alta, se mostrou com a menor correlação, mesmo próximo, já o PT.est apesar de aparecer mais distante do grupo amostral apresentou correlação próxima a 0,96. A metodologia de aferição do comprimento real do suíno considera a medida da calda ao focinho, o que não é possível através do mecanismo utilizado para extrair as informações das imagens 3D, considerando a anatomia do animal e a diferença de altura entre a parte da calda e da cabeça, causando nessa medida um prejuízo técnico. Shi, Teng e Li (2016) verificou que o comprimento do corpo (CA) e a altura da cernelha (C) foram estimados com o R^2 variando de 0,91 a 0,98.

O alto grau de correlação entre todas as medidas consideradas mostra que a combinação das duas fases de criação torna a predição mais robusta e que as medidas biométricas reais e estimadas, assim como o peso e o volume apresentam uma correlação significativa que pode ser explorada em sistemas automáticos de predição de peso vivo.

A exemplo do encontrado por Yu, Lee e Morota (2021) que utilizando câmera de profundidade para analisar o peso a partir das imagens de suínos na fase de crescimento observaram que a maior correlação foi obtida entre comprimento e volume e largura e volume (0,92).

Os modelos de regressão e as ACP se mostram mais consistentes na amostra global, mostrando a importância da larga amostragem e representatividade do cenário pesquisado. Além disso, análise multivariada vem sendo utilizada de forma eficiente nas

pesquisas pecuárias, relacionando o peso vivo á medidas biométricas dos suínos (YAKUBU; DURVEN; HAGAN, 2022)

4 CONCLUSÕES

O coeficiente de determinação linear entre o peso e o volume foi igual à 73,3, 74,1 e 97,3% para suínos nas fases de crescimento, terminação e global, mostrando que essa relação é positiva e expressa de forma satisfatória o peso dos animais.

A relação entre as variáveis biométricas reais e estimadas teve coeficiente de determinação mais expressivo na fase global, tendo apresentado valores entre 77 e 94%.

A análise de componentes principais auxiliou na análise da correlação entre as variáveis evidenciando a confiabilidade da relação peso-volume e da precisão das medidas biométricas estimadas através de ferramentas computacionais.

As técnicas atuais de análise de imagem têm se mostrado eficientes para obtenção de medidas biométricas e predição do peso vivo que podem ser aplicados em sistemas de criação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no presente estudo, pode-se considerar o processo de captura, processamento de imagem e obtenção das medidas biométricas e do volume dos animais, sendo promissora a aplicação dessa abordagem na construção de um programa computacional para predição automática do peso vivo de suínos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **Relatório anual 2022**. [São Paulo], 2022. 144 p. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2022/05/Relatorio-Anual-ABPA-2022-1.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.

BROOM, Donald M. Animal welfare: an aspect of care, sustainability, and food quality required by the public. **Journal of Veterinary Medical Education**, Washington, v. 37, n. 1, p. 83–88, 2010. Disponível em: <https://jvme.utpjournals.press/doi/pdf/10.3138/jvme.37.1.83>. Acesso em: 15 abr. 2022.

CONDOTTA, Isabella Cardoso Ferreira da Silva; BROWN-BRANDL, Tami M.; SILVA-MIRANDA, Késia Oliveira da; STINN, John P. Evaluation of a depth sensor for mass estimation of growing and finishing pigs. **Biosystems Engineering**, London, v. 173, p. 11-18, Sept. 2018. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1537511017304816?token=F91C6D506D0D1F92825A91D83D3AB5AF8ADD884A132BC9D1846D24C13C12B5887E2B32909E829EE68439582F8447A07A&originRegion=us-east-1&originCreation=20220916143614>. Acesso em: 10 fev. 2022.

DAWKINS, Marian Stamp; ROBERTS, S.J.; CAIN, R.J.; NICKSON, Thomas.; DONNELLY, Christi Ann. Early warning of footpad dermatitis and hockburn in broiler chicken flocks using optical flow, bodyweight and water consumption. **Veterinary Record**, London, v. 180, n. 20, p. 499, May, 2017.

FERNANDES, Arthur F. A.; DÓREA, João Ricardo Reboucas; FITZGERALD, Robert; HERRING, William; ROSA, Guilherme J. M. A novel automated system to acquire biometric and morphological measurements and predict body weight of pigs via 3D computer vision. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 97, n. 1, p. 496-508, 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The state of food and agriculture: livestock in the balance**. Rome, 2009. p. 1- 100. Disponível em: <https://www.fao.org/3/I0680E/i0680e.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2022.

JUN, Kyungkoo; KIM, Si Jung; JI, Hyun Wook. Estimating pig weights from images without constraint on posture and illumination. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 153, p. 169-176, 2018.

KAISER, Henry F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, Williamsburg, v. 23, n. 3, p. 187-200, Sept. 1958.

KASHIHA, Mohammadamin.; BAHR, Claudia.; OTT, Sanne.; MOONS, Christel Palmyre Henri; NIEWOLD, Theo A.; ÖDBERG, Frank O.; BERCKMANS, Daniel. Automatic weight estimation of individual pigs using image analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 107, p. 38-44, Sept. 2014.

KONGSRO, Jorgen. Estimation of pig weight using a microsoft kinect prototype imaging system. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 109, p. 32-35, Nov. 2014.

LI, Guixin; LIU, Xinliang; MA, Yafang.; WANG, Bingbing; ZHENG, Lihua; WANG, Minjuan. Body size measurement and live body weight estimation for pigs based on back surface point clouds. **Biosystems Engineering**, London, v. 218, p. 10-22, 2022.

LI, Zhuo; LUO, Cheng; TENG, Guanghui; LIU, Tonghai. Estimation of pig weight by machine vision: a review. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AND COMPUTING TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE*, 7th., 2013, Beijing. **Proceedings ...** [Beijing: Federação Internacional para Processamento de Informações], 2013. p. 42-49.

MA, Yafang; CHEN, Xin; ZHANG, Wenxin; ZHENG, Lihua; GAO, Wanlin; WANG, Minjuan. An approach of on-barn pig weight estimation via 3d computer vision by kinect V2. *In: ANNUAL INTERNATIONAL VIRTUAL MEETING*, 2020, St. Joseph, Michigan. [Anais eletrônicos ...] St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2020. Disponível em: [https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=51401&t=3&redir=aid=51401&redir=\[confid=virt2020\]&redirType=techpapers.asp&redirType=techpapers.asp](https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=51401&t=3&redir=aid=51401&redir=[confid=virt2020]&redirType=techpapers.asp&redirType=techpapers.asp). Acesso em: 20 mar. 2022.

MARCHANT, J. A; SCHOFIELD, C. P; WHITE, R. P. Pig growth and conformation monitoring using image analysis. **Animal Science**, Cambridge, v. 68, n. 1, p. 141–150, 1999.

MARINELLO, Francesco; PEZZUOLO, Andrea; CILLIS, Donato; GASPARINI, Franco; SARTORI, Luigi. Application of kinect-sensor for three-dimensional body measurements of cows. *In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION LIVESTOCK FARMING (ECPLF)*, 7th, 2015, Milan, Italy. **Proceedings ...** Milan: [Università Degli Studi di Milano], 2015. p. 661–669. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Francesco-Marinello/publication/288493476_Application_of_Kinect-Sensor_for_three-dimensional_body_measurements_of_cows/links/5699184308aea14769432478/Application-of-Kinect-Sensor-for-three-dimensional-body-measurements-of-cows.pdf. Acesso em: 23 abr. 2022.

NEHRANI, Somayeh Hamidi; ASKARI, Mohammad Sadegh; SAADAT, Saeed; DELAVAR, Mohammad Amir; TAHERI, Mehdi; HOLDEN, Nicholas M. Quantification of soil quality under semi-arid agriculture in the northwest of Iran. **Ecological Indicators**, [Amsterdam], v. 108, p. 1-12, Jan. 2020. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1470160X19307642?token=7263FA18714EF136F92B2116F79A8E647C0900785A93BEEF34E2EAE8E254610B5C70FE0ED318DA1D4BC4F7661061B8AC&originRegion=us-east-1&originCreation=20220919184510>. Acesso em: 15 abr. 2022.

PANDORFI, Héilton; GUISELINI, Cristiane.; ALMEIDA, Gledson L. P.; SILVA, Rodes A. B.; GOMES, Nicolay F. Suinocultura de precisão: Visão computacional e tecnologias digitais. **Revista científica de Produção Animal**, [Areia, PB], v. 22, n. 2, p.73-79, 2020.

RAMAEKERS, P. J. L.; HUISKES, J. H., VERSTEGEN, M. W. A., DEN HARTOG, L. A., VESSEUR, P. C.; SWINKELS, J. W. G. M. Estimating individual body weights of group-housed growing-finishing pigs using a forelegs weighing system. **Computers and**

Electronics in Agriculture, New York, v. 13, n. 1, p. 1–12, Aug. 1995.

SCHOFIELD, C. P. Evaluation of image analysis as a means of estimating the weight of pigs. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 47, p. 287–296, Sept./Dec. 1990.

SCHOFIELD, C. P.; MARCHANT, J. A.; WHITE, R. P.; BRANDL, N.; WILSON, M. Monitoring pig growth using a prototype imaging system. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 72, n. 3, p. 205–210, 1999.

SEVERO, André Martins; WEIZENMANN, Guilherme Santana. Identificação da massa de suínos utilizando visão computacional para ajuste dos parâmetros de insensibilização. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA*, 23., 2020, Santa Maria. Santa Maria: Universidade Federal de Santa, 2020.

SHI, Chen; TENG, Guanghui; LI, Zhuo. An approach of pig weight estimation using binocular stereo system based on LabVIEW. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 129, p. 37–43, 2016.

SILVA, Severino R.; ALMEIDA, Mariana; CONDOTTA, Isabella; ARANTES, André; GUEDES, Cristina; SANTOS, Virgínia. Assessing the feasibility of using kinect 3D images to predict light lamb carcasses composition from leg volume. **Animals**, Basel, v. 11, n. 12, p. 3595, 2021.

SILVEIRA, Expedito Tadeu Facco et al. **Suínos**: abate, cortes e processamento na área rural. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, Centro de Tecnologia de Carnes, 1988. 59 p. (Manual técnico, n. 2)

WONGSRIWORAPHON, Apirachai; ARNONKIJPANICH, Banchar; PATHUMNAKUL, Supachai. An approach based on digital image analysis to estimate the live weights of pigs in farm environments. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 115, p. 26–33, 2015.

YAKUBU, Abdulmojeed.; DURVEN, Galle; HAGAN, Julius. Multivariate analysis of body weight, morphometric and thermo-physiological traits of indigenous pigs under tropical conditions. **Genetics and Biodiversity Journal**, Argélia, v. 6, n. 1, p. 91-104, 2022.

YU, Haipeng; LEE, Kiho; MOROTA, Gota. Forecasting dynamic body weight of nonrestrained pigs from images using an RGB-D sensor camera. **Translational Animal Science**, Champaign, v. 5, n. 1, 2021.