



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**NANOTECNOLOGIA AGREGADA AO PISO PLÁSTICO COMO
MATERIAL ALTERNATIVO PARA A CAMA DE FRANGOS DE CORTE**

BRUNA BARRETO PRZYBULINSKI

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

Área de Concentração: Produção Animal.

Dourados – MS

Fevereiro de 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

NANOTECNOLOGIA AGREGADA AO PISO PLÁSTICO COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA A CAMA DE FRANGOS DE CORTE

BRUNA BARRETO PRZYBULINSKI

Zootecnista

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia

Coorientadoras: Prof^a. Dr^a. Claudia Marie Komiyama

Prof^a. Dr^a. Maria Fernanda de Castro Burbarelli

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

Área de Concentração: Produção Animal.

Dourados – MS

Fevereiro de 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

V155a Przybulinski, Bruna Barreto

NANOTECNOLOGIA AGREGADA AO PISO PLÁSTICO COMO MATERIAL
ALTERNATIVO PARA A CAMA DE FRANGOS DE CORTE [recurso eletrônico] / Bruna
Barreto Przybulinski. -- 2024.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Rodrigo Garófallo Garcia.

Coorientadora: Maria Fernanda de Castro Burbarelli.

Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. antimicrobiano. 2. bem-estar animal. 3. comportamento. 4. dejetos. 5. maravalha. I. Garcia,
Rodrigo Garófallo. II. Burbarelli, Maria Fernanda De Castro. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

NANOTECNOLOGIA AGREGADA AO PISO PLÁSTICO COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA A CAMA DE FRANGOS DE CORTE

por

BRUNA BARRETO PRZYBULINSKI

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
DOUTORA EM ZOOTECNIA

Aprovado(a) em: 26/02/2024



Documento assinado digitalmente

RODRIGO GARÓFALLO GARCIA

Data: 28/02/2024 14:02:25-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rodrigo Garófallo Garcia Orientador(a)

UFGD

Documento assinado digitalmente



ANA CAROLINA AMORIM ORRICO

Data: 07/03/2024 17:25:34-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Ana Carolina Amorim Orrico

UFGD

Documento assinado digitalmente



DAIANE DE OLIVEIRA GRIESER

Data: 04/03/2024 21:28:22-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Daiane de Oliveira Grieser

UNIFESSPA

Documento assinado digitalmente



IRENILZA DE ALENCAR NAAS

Data: 01/03/2024 11:46:56-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Irenilza de Alencar Nääs

UNIP

Documento assinado digitalmente



KELLY MARI PIRES DE OLIVEIRA

Data: 07/03/2024 13:52:07-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Kelly Mari Pires de Oliveira

UFGD

Documento assinado digitalmente



MARIA FERNANDA DE CASTRO BURBARELLI

Data: 05/03/2024 16:54:40-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Maria Fernanda de Castro Burbarelli

UFGD

Ao meu amado esposo Neuri e as minhas princesas Sarah e Sofia.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde, sabedoria e persistência. Pelo Seu cuidado zeloso comigo e minha família durante todo esse período.

Ao meu esposo Neuri pelo amor, paciência, compreensão e incentivo. Obrigada pela sua dedicação como esposo e pai. Obrigada por “segurar as pontas” com as meninas na minha ausência.

À minha família pela minha formação pessoal. Pai, mãe e irmão vocês foram essenciais na formação mais importante de um profissional: o caráter. Aos demais familiares agradeço o suporte e incentivo.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), especialmente a Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), pela oportunidade de realização deste curso.

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

Ao Prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia, ao qual já foram muitos agradecimentos (TCC e dissertação), mas minha gratidão é eterna pela sua dedicação e confiança depositadas em mim. Obrigada pela paciência, incentivo, esforços para que essa tese se concretizasse. Obrigada por sempre insistir em mim!

À Prof^a. Dr^a. Maria Fernanda Burbarelli pela coorientação, por ser sempre muito solícita e dedicada comigo, em tudo que faz. Pelas ótimas ideias, por ser “mão na massa”, por buscar conhecimento para agregar nessa tese. Obrigada pela amizade e companhia durante esses anos.

À Prof^a. Dr^a. Claudia Marie Komiyama pela coorientação, disponibilidade, ajuda, confiança, sugestões e ensinamentos.

Aos colegas e amigos Felipe Serpa e Vivian Castilho, que foram companheiros durante o período experimental e parceria diária desses últimos anos. Obrigada por dividirem a sala, o mate, tereré e cafés. Os dias ficaram mais leves com a companhia de vocês nesse período de isolamento da universidade. Aos colegas Kelly Barbosa, Jean Valentim e Rita Pietramale pelas conversas, ajudas e artigos.

Aos alunos do grupo de pesquisa em avicultura e suinocultura NESAQ, Programa de Educação Tutorial (PET ZOO) e alunos de medicina veterinária da UNIGRAN em especial a Hindyra Folador, João Paulo Bueno, Erique Porfirio, Jacqueline Souza, Letícia Garcia (e família), Ester Rezende, Vidal Garcete, Emanuelle Pereira, Fernanda de Oliveira, Aline Silva,

Vitória Cardoso e Charlotte Jardim. Obrigada por em meio a pandemia estarem presentes nas análises e plantões, em dias frios, domingos e feriados.

Aos técnicos da FCA, em especial a Adriana Hirata, Taiany Saravy, Ronaldo de Araujo que sempre auxiliaram na parte administrativa, durante as análises, com muita educação e conhecimento, cedendo equipamentos, espaço e instrumentos depositando confiança no meu trabalho.

A equipe terceirizada e de funcionários da UFGD: José Carlos Nogueira (FAECA), Aluísio (horta), Carlos dos Santos (transporte), Gismery Monteiro (DIMAP), sem o auxílio deles não teria executado meu experimento.

Ao Ronaldo pela experiência e ajuda durante o período de criação das aves, pelos tererés, conversas e por auxiliar em todas as análises e manejos independente de horário ou da atividade, sendo nosso braço forte.

A empresa BRF pela disponibilidade dos pintainhos e fornecimento de ração, viabilizando a pesquisa.

A empresa Pisani, por acreditar nesse projeto e fornecer os pisos para o experimento.

A empresa Copa Verde por fornecer a maravalha e serem tão atenciosos em todos os contatos realizados.

Aos professores Dr. Alexandre Fernandes, Dr^a. Andréa Maria Araújo Gabriel, Dr^a. Fabiana Cavichiolo por cederem laboratórios e equipamentos.

As professoras Dr^a. Ana Carolina Amorim Orrico, Dr^a. Gisele Felix, Dr^a. Kelly Mari Pires de Oliveira pela parceria para executar as análises desse projeto. As alunas Vitória, Renata, Brenda e Juliana que foram responsáveis pelas análises.

A professora Dr^a Fabiana Ribeiro Caldara, pelo apoio, suporte e ideias durante a execução do projeto e disponibilidade de ser banca na qualificação.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Zootecnia que compartilharam conhecimento e experiências durante a jornada acadêmica. Obrigada por contribuírem com minha formação!

Muito obrigada!

BIOGRAFIA DA AUTORA

Bruna Barreto Przybulinski, filha de Vera Regina Rodrigues Barreto e Celonir Edson Schaurich Barreto nasceu em 26 de junho de 1988 em Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul. Em janeiro de 2011 finalizou o Curso e Técnico em Agropecuária na Escola Estadual Técnica Nossa Senhora da Conceição na cidade em que nasceu. Em 2011, mudou-se para Dourados, Mato Grosso do Sul, ingressando em março de 2011 no curso Bacharelado em Zootecnia, na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), graduando-se em fevereiro de 2016. Trabalhou na empresa BRF de Dourados como extensionista em granjas de matrizes de frangos de corte no período de 2016 a 2018. Em março de 2018 voltou para o meio acadêmico, iniciando o mestrado em Zootecnia, ênfase em Produção Animal pela mesma instituição de formação acadêmica, com pesquisa voltada a materiais de cama de frango de corte. Após finalizar o mestrado em fevereiro de 2020, ingressou no doutorado seguindo a mesma linha de pesquisa na avicultura de corte. Em maio de 2022 ingressou na área técnica de matrizes de suínos na empresa JBS de Dourados, finalizando seu doutorado em fevereiro de 2024.

“Se você encontrar um caminho sem obstáculos, ele provavelmente não leva a lugar algum.”

Frank Clark

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	19
GENERAL ABSTRACT.....	21
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	23
CAPÍTULO 1	26
USO DE PISO PLÁSTICO PARA FRANGOS DE CORTE	26
1. Introdução	27
2. Desenvolvimento	29
Desempenho	29
Comportamento das aves	30
Sanidade	31
Rendimento e qualidade de carcaça	33
Uso de nanotecnologia na avicultura	33
3. Conclusão.....	35
Referências	35
CAPÍTULO 2.....	41
PISO PLÁSTICO COMO ALTERNATIVA DE CAMA E SEU IMPACTO NO BEM-ESTAR DE FRANGOS DE CORTE	41
RESUMO	42
1. Introdução	44
2. Material e métodos.....	45
Criação das aves e delineamento experimental.....	45
Descrição dos materiais de cama	46
Temperatura das aves e da cama na fase inicial.....	47
Comportamento	48
Limpeza das penas	49
Incidência de problemas locomotores	49
Análise Estatística	52
3. Resultados.....	54
4. Discussão.....	66
5. Conclusões	69
Referências	70

CAPÍTULO 3	77
PISO PLÁSTICO NANOTECNOLÓGICO PARA FRANGOS DE CORTE INTERFERE NO DESEMPENHO, SAÚDE E QUALIDADE DO PRODUTO.....	77
RESUMO	78
1. Introdução	80
2. Material e métodos.....	82
Criação das aves e delineamento experimental.....	82
Descrição dos materiais de cama	84
Biometria dos órgãos e lesões de Eimeria.....	84
Microbiologia dos materiais de cama.....	85
Desempenho e rendimento de carcaça e cortes	87
Lesões, incidência de miopatias e qualidade de carne	88
Análise Estatística	90
3. Resultados.....	90
4. Discussão.....	98
5. Conclusões	101
Referências	102
CAPÍTULO 4.....	109
CARACTERIZAÇÃO E POTENCIAL ENERGÉTICO DE DIFERENTES MATERIAIS DE CAMA DE FRANGO	109
CHARACTERIZATION AND ENERGY POTENTIAL OF BROILER MANURE REARED UNDER DIFFERENT FLOORING MATERIALS	109
1. Introduction	111
2. Materials and Methods	112
2.1. Bedding material.....	113
2.2. Material characterization, collection, and analysis	113
2.3. Biodigestion analyzes	114
2.4. Statistical analysis.....	114
3. Results and Discussion	115
4. Conclusions	123
References.....	124
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	126

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1: Etograma elaborado para avaliação de frangos de corte criados sobre diferentes tipos de materiais de cama..	48
Tabela 2. Temperatura superficial de diferentes materiais de cama (°C): maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA) aos 8 e 15 dias de idade..	54
Tabela 3. Temperatura corporal (°C) de pintainhos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA) aos 2, 8 e 15 dias..	54
Tabela 4. Temperatura superficial das patas (°C) de pintainhos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA) aos 2, 8 e 15 dias.....	55
Tabela 5. Comportamento de pintainhos de corte aos 3 dias de idade (% do total de observações), criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA)...	56
Tabela 6. Frequência comportamental de frangos de corte aos 29 dias de idade (% do total de observações), criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA)...	56

- Tabela 7. Frequência comportamental de frangos de corte aos 40 dias de idade (% do total de observações), criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA)...57
- Tabela 8. Discondroplasia tibial, espondilolistese e fraturas e luxações dos pés de frangos de corte de 42 dias criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA)...64

CAPÍTULO 3

- Tabela 1. Desempenho de frangos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA)...91
- Tabela 2. Biometria dos órgãos (g) de frango de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% maravalha e 50% piso plástico (MA+PP); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% maravalha e 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (MA+PPA)...92
- Tabela 3. Presença de *Salmonella* spp (%) em diferentes materiais de cama de frango de corte: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% maravalha e 50% piso plástico (MA+PP); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% maravalha e 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (MA+PPA)...94
- Tabela 4. Peso vivo (PV), peso de carcaça quente (PCQ), peso de carcaça resfriada (PCR) de frangos de corte aos 42 dias, criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA)..95

- Tabela 5. Rendimento de cortes, carcaça quente (RCQ) e carcaça resfriada (RCR) de frangos de corte aos 42 dias, criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).95
- Tabela 6. Escore de incidência de calo de peito, arranhão, hematomas e dermatites de carcaça de frangos de corte abatido aos 42 dias, criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).....96
- Tabela 7. Dimensões, pH, teor de vermelho (a*), teor de amarelo (b*), luminosidade (L*), capacidade de retenção de água (CRA), perda por exsudação (DL), perda de peso por descongelamento (PPD), perda de peso por cocção (PPC) e força de cisalhamento (FC) de filé de peito de frango de corte aos 42 dias, criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).....97

CAPÍTULO 4

- Table 1. Litter characterization of different broiler litter materials: wood shavings (WS); plastic floor (PP); 50% plastic floor + 50% wood shavings (PP + WS); plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive (PPA); 50% plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive +50% wood shavings (PPA + WS), and the effect and regression equations found..... 115
- Table 2. Contents of total solids (TS), volatile solids (VS), the fiber in neutral detergent (NDF), the fiber in acid detergent (ADF), and total nitrogen (N) (crude protein) of residues of different broiler litter materials: wood shavings (WS); plastic floor (PP); 50% plastic floor + 50% wood shavings (PP + WS); plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive (PPA); 50% plastic floor with

nanotechnology antimicrobial additive +50% wood shavings (PPA + WS) at 42nd day.....	117
--	-----

Table 3. Reduction of biodigestion (Red) of different broiler litter materials over time: wood shavings (WS); plastic floor (PP); 50% plastic floor + 50% wood shavings (PP + WS); plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive (PPA); 50% plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive +50% wood shavings (PPA + WS), and the effect and regression equations found.....	118
---	-----

Table 4. Biogas production over time from different broiler litter materials: wood shavings (WS); plastic floor (PP); 50% plastic floor + 50% wood shavings (PP + WS); plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive (PPA); 50% plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive +50% wood shavings (PPA + WS)..	120
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Exemplos de estrutura de piso plástico perfurado próximo a área de alimentação ..28

CAPÍTULO 2

Figura 1. Tratamentos utilizados no experimento: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% maravalha e 50% piso plástico (MA + PP); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% maravalha e 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (MA + PPA)..46

Figura 2. Escores de pododermatite de frango de corte 50

Figura 3. Escore de discondroplasia tibial de frangos de corte aos 42 dias. 51

Figura 4. Escore de degeneração femoral de frangos de corte aos 42 dias 51

Figura 5. Espondilolistese em frangos de corte aos 42 dias (A) Corte Sagital da coluna vertebral (B) Ausência de lesão (C) Presença de lesão..... 52

Figura 6. Escore de sujidade de penas de frangos de corte aos 40 dias criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA). 58

Figura 7. *Gait Score* de frangos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).. 59

Figura 8. Escore de pododermatite de frangos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA)..... 60

Figura 9. Escore de lesão de jarrete de frangos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).....61

Figura 10. Desvio angular em frangos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).....62

Figura 11. *Latency to lie* em frangos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).....63

Figura 12. Degeneração femoral em frangos de corte de 42 dias criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA)...64

Figura 13. Diferentes fraturas apresentadas em pés de frangos de corte de 42 dias criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).....65

CAPÍTULO 3

Figura 1. Tratamentos utilizados no experimento: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% maravalha e 50% piso plástico (MA + PP); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% maravalha e 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (MA + PPA)..83

Figura 2. Metodologia de pesquisa de heterotróficos.....	86
Figura 3. Metodologia de pesquisa de <i>Salmonella</i>	87
Figura 4. Lesões macroscópicas de <i>Eimeria</i> em frangos de corte. A: Lesões características de <i>Eimeria brunetti</i> grau 1. B: Lesões características de <i>Eimeria brunetti</i> grau 2. C: Lesões característica de <i>Eimeria maxima</i> grau 2. D: Lesões característica de <i>Eimeria máxima</i> grau 3.....	93
Figura 5. Contagem de bactérias heterotróficas (log UFC/g ⁻¹) de diferentes materiais de cama de frango de corte: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% maravalha e 50% piso plástico (MA+PP); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% maravalha e 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (MA+PPA)..	94
Figura 6. Escore de lesão de <i>Wooden Breast</i> de frangos de corte aos 42 dias, criados em 6 diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso 7 plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo 8 antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo 9 antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA))...	96

CAPÍTULO 4

Figure 1. Pictures of the treatments (WS, PP, PP + WS, PPA, and PPA + WS) used in the experiment.....	113
Figure 2. Pictures of the data collected during the experiment.	113

RESUMO GERAL

O objetivo geral foi avaliar o uso de nanotecnologia no piso plástico para frangos de corte até os 42 dias e as implicações sobre o desempenho, bem-estar e saúde das aves, analisando os impactos sobre o produto final, bem como caracterizando os resíduos gerados por esse material de cama, verificando seu potencial energético. O trabalho está dividido em 5 capítulos sendo o primeiro uma revisão bibliográfica sobre a temática e os demais são resultados da presente pesquisa. **CAPÍTULO 1:** Historicamente, a academia avícola busca materiais que favoreçam o desempenho e bem-estar das aves quando o assunto é cama, variando desde a criação em gaiolas, materiais vegetais alternativos e pisos plásticos, que apresentam potencial a ser explorado pelas pesquisas futuras. Em função da heterogeneidade de resultados, encontrar um material plástico com características que atenda às necessidades das aves, diminuindo riscos sanitários e favorecendo a parte econômica é o maior desafio da indústria. O desafio ainda se estende a questões de ambiência, obtendo qualidade de ar e condições para manter uma boa climatização, principalmente em temperaturas mais elevadas. **CAPÍTULO 2:** O objetivo com esse trabalho foi avaliar o comportamento e a incidência de problemas locomotores de frangos de corte até os 42 dias de idade criados sobre dois tipos de piso plástico (com e sem antimicrobiano nanotecnológico), em comparação ao sistema convencional de cama com maravalha. Mensurou-se temperatura corporal, temperatura superficial das patas e da cama na fase inicial. Como parâmetros de bem-estar foram avaliados, comportamento das aves, limpeza das penas, pododermatite, lesões de jarrete, *gait score*, *latency to lie* e desvios de angulação das pernas em relação ao eixo central. Após o abate, analisou-se a discondroplasia tibial e degeneração femoral, epondilolistese e radiográfica dos pés. Os pisos plásticos utilizados nesse estudo não interferiram na temperatura corporal das aves em um período crítico de aquecimento como o da fase inicial de criação. Podem ser indicados para frangos de corte sem afetar o bem-estar desde que seja utilizado em conjunto com a maravalha. Outra alternativa de uso seria até próximo aos 27 dias de vida, como frangos de tipo *griller*, que são mais leves e abatidos mais jovens, já para frangos aos 42 dias, há uma interferência negativamente do piso plástico na maioria dos parâmetros de problemas locomotores avaliados. **CAPÍTULO 3:** O objetivo com esse trabalho foi avaliar os efeitos da utilização de dois tipos de piso plástico (com e sem antimicrobiano nanotecnológico) em substituição parcial e total da maravalha sobre o desempenho, rendimento, qualidade de carne e microbiologia da cama de frangos de corte criados até os 42 dias de idade. Avaliou-se biometria dos órgãos, lesões macroscópicas de *Eimeria*, microbiologia da cama, desempenho, rendimento de carcaça e cortes, miopatias e qualidade de carne. O material plástico como cama de frango apresentou desafios relacionados a *Eimeria*. O aditivo antimicrobiano do piso plástico não apresentou o efeito esperado de minimizar a presença de microrganismos patogênicos. O piso plástico mostrou limitação para uso com frangos de corte até os 42 dias, influenciando negativamente o desempenho, peso e rendimento de carcaça, mas não interferiu nos parâmetros de rendimento de cortes e lesões de carcaça. No que se refere a qualidade de carne, as aves criadas sobre o piso plástico obtiveram uma carne mais avermelhada, não apresentando grandes alterações

nas demais variáveis. **CAPÍTULO 4:** Objetivou-se com esse trabalho caracterizar os dejetos de frango de corte (puro e com maravalha), quantificando seu potencial de produção de energia através da biodigestão anaeróbia. As coletas dos resíduos foram realizadas aos 14, 28 e 42 dias de produção dos frangos. Para caracterização dos resíduos analisou-se sólidos totais e voláteis, fibras em detergente neutro e ácido, nitrogênio (N) e pH, aos 14, 28 e 42 dias de idade, avaliando o coeficiente de resíduo (CR) aos 42 dias. Para biodigestão anaeróbia dos resíduos foram utilizados digestores batelada e analisadas as concentrações de oxigênio, dióxido de carbono e metano no biogás gerado. A presença da maravalha foi determinante para caracterização e produção dos resíduos. Como esperado, os tratamentos com piso plástico sem maravalha resultaram em resíduos com maiores teores de N e quando analisamos a produção por kg de peso vivo, o piso plástico gerou menos resíduo. As excretas advindas do tratamento com piso com antimicrobiano interferiram negativamente no potencial de produção de biogás e metano.

Palavras-chaves: antimicrobiano, bem-estar animal, comportamento, dejetos, maravalha, problemas locomotores

GENERAL ABSTRACT

The overall objective was to evaluate the use of nanotechnology in plastic flooring for broiler chickens up to 42 days old and the implications for the performance, welfare and health of the birds, analyzing the impacts on the final product, as well as characterizing the waste generated by this bedding material, verifying its energy potential. The work is divided into 5 chapters, beginning with a literature review on the subject and the others the results of the present research. **CHAPTER 1:** Historically, the poultry academy has sought materials that favor the performance and welfare of birds when it comes to bedding, ranging from cage breeding, alternative plant materials and plastic flooring, which have potential to be explored by future research. Due to the heterogeneity of results, finding a plastic material with characteristics that meet the needs of the birds, reducing health risks and favoring the economic side is the biggest challenge for the industry. The challenge also extends to issues of ambience, obtaining air quality and conditions to maintain good air conditioning, especially at higher temperatures. **CHAPTER 2:** The objective of this study was to evaluate the behavior and incidence of locomotor problems in broilers up to 42 days of age raised on two types of plastic flooring (with and without nanotechnological antimicrobial), compared to the conventional litter system with wood shavings. Body temperature, surface temperature of the feet and litter were measured in the initial phase. The following welfare parameters were evaluated: bird behavior, feather cleanliness, pododermatitis, hock lesions, gait score, latency to lie and deviations in leg angulation in relation to the central axis. After slaughter, tibial dyschondroplasia and femoral degeneration, eponylolisthesis and radiographic examination of the feet were analyzed. The plastic floors used in this study did not interfere with the body temperature of the birds in a critical heating period such as the initial phase of rearing. They may be indicated for broilers without affecting their welfare as long as they are used together with wood shavings. Another alternative use would be up to 27 days of age, such as griller chickens, which are lighter and slaughtered younger. However, for chickens at 42 days of age, there is a negative interference of the plastic floor in most of the parameters of locomotor problems evaluated. **CHAPTER 3:** The objective of this study was to evaluate the effects of using two types of plastic flooring (with and without nanotechnological antimicrobial) in partial and total replacement of wood shavings on the performance, yield, meat quality and microbiology of the litter of broilers raised up to 42 days of age. Organ biometry, macroscopic lesions of Eimeria, litter microbiology, performance, carcass and cut yield, myopathies and meat quality were evaluated. The plastic material as chicken litter presented challenges related to Eimeria. The antimicrobial additive of the plastic floor did not have the expected effect of minimizing the presence of pathogenic microorganisms. The plastic floor showed limitations for use with broilers up to 42 days of age, negatively influencing performance, weight and carcass yield, but did not interfere with the parameters of cut yield and carcass lesions. Regarding meat quality, the birds raised on the plastic floor obtained a redder meat, without presenting major changes in the other variables. **CHAPTER 4:** The objective of this study was to characterize broiler manure (pure and with wood shavings),

quantifying its potential for energy production through anaerobic biodigestion. The waste was collected at 14, 28 and 42 days of chicken production. To characterize the waste, total and volatile solids, neutral and acid detergent fibers, nitrogen (N) and pH were analyzed at 14, 28 and 42 days of age, evaluating the residue coefficient (RC) at 42 days. For anaerobic biodigestion of the waste, batch digesters were used and the concentrations of oxygen, carbon dioxide and methane in the biogas generated were analyzed. The presence of wood shavings was decisive for the characterization and production of the waste. As expected, the treatments with plastic flooring without wood shavings resulted in waste with higher N levels and when we analyzed the production per kg of live weight, the plastic flooring generated less waste. The excreta from the treatment with flooring with antimicrobials negatively interfered with the potential for biogas and methane production.

Keywords: antimicrobial, animal welfare, behavior, waste, wood shavings, locomotor problems

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Brasil se destaca na avicultura mundial, sendo esse resultado alcançado devido ao desenvolvimento da ciência e tecnologia avícola, que sempre buscaram aperfeiçoar as técnicas de produção, levando em consideração a sanidade, nutrição, genética, bem-estar dos animais e condições de vida do trabalhador.

No ano de 2022, o Brasil foi o 2º maior produtor de carne de frango, produzindo 14,524 milhões de toneladas (ABPA, 2023). Embora 66,80% dessa produção seja destinada ao mercado interno, o Brasil permaneceu na liderança mundial de exportação, atendendo as rígidas exigências do mercado internacional, com qualidade, segurança, saúde e bem-estar.

Para atingir esse potencial de produção, as instalações contam com tecnologias avançadas, principalmente no âmbito da ambiência, com aviários climatizados e automatizados que minimizam as variações indesejadas de temperatura. Além das estruturas há um alto investimento em equipamentos projetados para estimular o consumo sem desperdício de ração. Em contrapartida, segue-se utilizando há décadas, na maioria dos sistemas avícolas, o sistema de cama profunda, com materiais vegetais para absorver a umidade das excretas e minimizar o impacto do piso sobre o animal. Não há inovações tecnológicas aplicáveis, referentes a esse assunto no setor de avicultura.

A cama de frango deve possuir propriedades de absorver a umidade das excretas, dos bebedouros e restos de ração. Tem grande importância para a produção, pois se mal manejada já na fase inicial, eleva a quantidade de amônia dentro da instalação, afetando a saúde respiratória das aves, qualidade de carcaça e aumentando a incidência de pododermatites. Os animais ficam em contato direto com as excretas durante toda a vida, e nesse tipo de sistema de cama possuem maior facilidade de contaminação fecal-oral. Quando reaproveitada, a cama necessita de tratamento entre os lotes para minimizar problemas sanitários, retirar o excesso de umidade e placas compactadas que possam surgir devido ao manejo inadequado. Portanto, os pintainhos que chegarem na instalação, receberão uma carga biológica de um lote antigo através da cama reaproveitada, já que o tratamento realizado não elimina todos os microrganismos encontrados na cama.

Diante dessas dificuldades da cama convencional, ainda há a questão de oferta e demanda dos materiais utilizados, como a casca de arroz, maravalha, casca de

amendoim, palha de trigo, entre outros substratos. Existem regiões onde a disponibilidade de substratos é limitada a determinada época do ano, sendo sazonais, onerando os custos de produção. O uso desses materiais vegetais tende a aumentar, já que a produção de frango de corte está crescendo anualmente. Além disso, os diversos setores industriais competem por materiais que sejam biocombustíveis e ainda há a proibição do uso de gaiolas em sistemas de produção de ovos, que só faz aumentar a disputa por substratos vegetais.

O uso de materiais orgânicos pode contribuir com a geração de elevados volumes de resíduos que se não corretamente destinados podem ter efeitos indesejados ao meio ambiente. Nesse mesmo contexto, cabe ainda ressaltar que não há pesquisas voltadas para a caracterização da excreta de aves de corte sem o material vegetal da cama, ratificando a importância desse trabalho, para gerar dados e mensurar o real potencial de geração de energia dos dejetos de frangos de corte.

Atualmente o piso plástico é utilizado amplamente no setor de suinocultura, se adaptando a diferentes necessidades, inclusive de aquecimento, conforme a fase do animal. Na avicultura limita-se a produção de matrizes, como *slats*, facilitando o acesso aos ninhos e servindo de certa forma de enriquecimento ambiental. Algumas pesquisas não mostram um resultado sólido no que diz respeito ao uso de piso plástico para frangos de corte, necessitando principalmente de resultados embasados na realidade das estruturas dos aviários brasileiros.

A utilização de um piso plástico que reduza o contato das aves com as excretas e toda a umidade encontrada em uma cama convencional (material orgânico) pode ser considerada uma alternativa para minimizar problemas locomotores, de carcaça e sanitários, promovendo melhores condições de bem-estar para as aves. Os materiais plásticos possuem longa durabilidade, o que permite sua reutilização por grande quantidade de ciclos produtivos, diluindo o custo do investimento inicial de sua aquisição entre os lotes.

Atribuir ao piso plástico a inclusão de nanotecnologia permite potencializar propriedades, apresentando características diferenciadas como o uso de antimicrobianos em materiais plásticos. A interação dessas estruturas com o ambiente é favorecida por uma maior superfície de contato. Alguns dos benefícios dessa tecnologia no sistema de produção animal são a inibição de microrganismos patógenos conforme a necessidade do local que será utilizado e a inexistência de lixiviação do produto após incorporado durante a fabricação apresentando maior durabilidade.

Sendo assim, o objetivo geral com essa pesquisa foi avaliar o uso de nanotecnologia no piso plástico para frangos de corte até os 42 dias, analisando suas implicações sobre o desempenho, bem-estar e saúde das aves. Além disso, buscou analisar os impactos do piso sobre o produto final, com avaliações de qualidade de carne e rendimento de carcaça, bem como caracterizando os resíduos gerados por esse material de cama, verificando seu potencial energético.

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, sendo o Capítulo 1: “Uso de piso plástico para frangos de corte”, Capítulo 2: “Piso plástico como material de cama não interfere na fase inicial de frangos de corte”; Capítulo 3: “Piso plástico nanotecnológico para frangos de corte interfere no desempenho, saúde e qualidade do produto”; Capítulo 4: “Piso plástico como alternativa de cama e seu impacto no bem-estar de frangos de corte”, Capítulo 5: “Caracterização e potencial energético de diferentes materiais de cama de frango”, e encontram-se redigido conforme as normas adaptadas da Revista Brasileira de Zootecnia (ISSN 1806-9290), com exceção do Capítulo 5, que foi publicado e encontra-se nas normas da revista *Sustainability* (ISSN 2071-1050).

CAPÍTULO 1
REVISÃO DE LITERATURA
USO DE PISO PLÁSTICO PARA FRANGOS DE CORTE

Redigido de acordo com as normas adaptadas da Revista Brasileira de Zootecnia.

Qualis A2 (2020), fator de impacto – JCR 1,000 (2022).

Uso de piso plástico para frangos de corte

1. Introdução

A avicultura está em um patamar de criação extremamente produtivo. Frangos de corte estão sendo criados em densidades superiores à do século passado (31 para 44 kg/m²), produzindo maior quantidade de carne por metro quadrado em menor tempo (Puron et al., 1995; Weeks et al., 2000; Tallentire et al., 2016; Hartcher e Lum, 2019, Shynkaruk et al., 2023). Essas condições se deram devido a evolução genética e nutricional, tendo suporte das instalações e equipamentos, que com tecnologia e automação conseguiram atender as necessidades do animal.

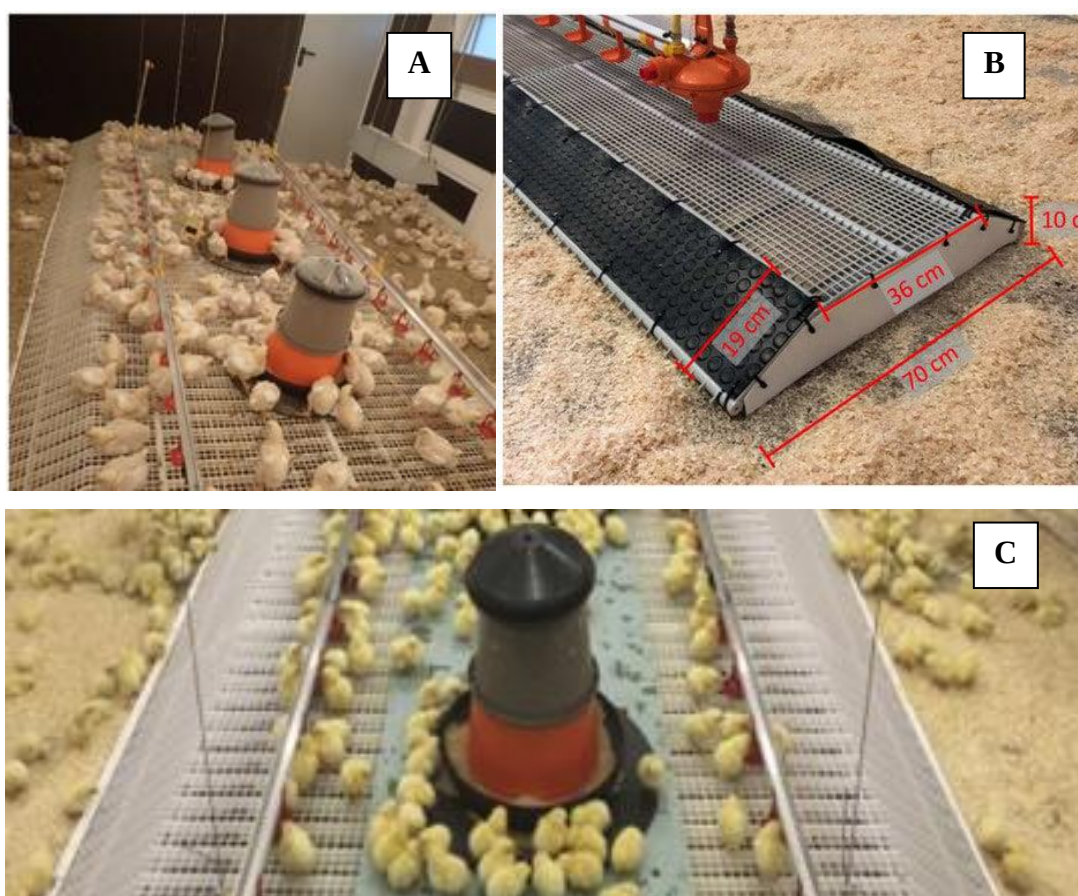
Quando se observa a evolução do uso de cama na avicultura, desde as primeiras criações sempre houve a presença de um material vegetal, se assemelhando as condições naturais da ave. O uso de material vegetal como cama na avicultura está solidificado há séculos, sendo utilizado por razões econômicas e conforto aos animais, proporcionando qualidade de ar, temperatura e umidade (Soliman e Hassan., 2020). Maravalha e serragem são os principais materiais utilizados como cama na avicultura comercial de frango de corte (Toghyani et al., 2010). Embora outros materiais alternativos tenham características favoráveis, há limitações para realizar o uso de forma comercial, sejam elas econômicas, de disponibilidade ou consistência dos desempenhos zootécnicos (Abougabal et al., 2022).

Até a década de 90 muitas foram as pesquisas para criação de frango em gaiolas, buscando-se alternativas de criação, pensando principalmente em reduzir custos com o material de cama e aumentar a produção (Akpobome e Fanguy, 1992). Zulkifli e Khatijah (1998) pesquisaram sobre diferentes pisos de gaiolas, avaliando a preferência de frango de corte entre o piso plástico e de arame. Outros autores focaram suas pesquisas em comparar pisos de gaiola de arame, plástico, nylon, revestimentos de borrachas e madeira, avaliando possíveis danos na carcaça, como calo de peito e problemas locomotores (Reece, et al., 1971; Andrews, 1972; Akpobome e Fanguy, 1992). Mas em todas essas pesquisas o sistema não se mostrou viável para a criação de frangos, acarretando em maiores mortalidades, lesões de carcaça e piora na eficiência alimentar. Nesse mesmo contexto, vieram pesquisas com piso elevado, testando além de diversos materiais de piso (aramé, plástico, revestimentos), diferentes perfurações, aberturas e formatos dos orifícios (Simpson e Nakaue, 1987; Andrews et al., 1990).

Posteriormente, nos anos 2000, houve uma diminuição das pesquisas voltadas a esse assunto, limitando-se ao setor de poedeiras, principalmente matrizes e pisos como

forma de enriquecimento ambiental (Freire et al., 2003; Sander et al., 2003; Leone e Estévez, 2008). No setor de matrizes, o piso suspenso foi utilizado com a função de manter um ambiente mais limpo, diminuindo contaminação dos ovos férteis, sendo esse material de fácil sanitização (Sander et al., 2003). No quesito comportamento, introduziu-se um material de piso elevado, para estimular a movimentação dos animais e proporcionar uma zona de fuga, minimizando o estresse das aves em sistema intensivo (Freire et al., 2003; Leone e Estévez, 2008).

Atualmente as pesquisas voltaram-se ao uso de piso para frangos de corte devido à alta demanda por materiais vegetais, dificuldade de manejo durante o lote para manter a qualidade da cama e condições que favoreçam a saúde e bem-estar das aves (Çavuşoğlu et al., 2018; Chuppava et al., 2018; Sonnabend et al., 2022). Os pisos podem ser projetados para aviários experimentais ou comerciais, para cobertura total ou parcial, localizado em regiões estratégicas do aviário (Figura 1).



Fonte: A: May et al. (2022); B: Adler et al. (2020); C: Sonnabend et al. (2022).

Figura 1. Exemplos de estrutura de piso plástico perfurado próximo a área de alimentação.

Fatores voltados ao comportamento das aves, sanidade, desempenho e qualidade de carcaça são determinantes para a aplicabilidade do piso plástico como material de cama para frangos de corte, fomentando pesquisas na área.

2. Desenvolvimento

Desempenho

Para validar um novo material alternativo de cama é relevante mensurar as variáveis de desempenho. A cama deve proporcionar às aves condições de deslocamento favorecendo seu consumo de ração e quando bem manejada não ocorrerão gastos energéticos para compensar condições inadequadas que possam causar injúrias no aparelho locomotor, piora nas condições de bem-estar e sanidade.

Quando uma estrutura de piso perfurado em uma área abaixo do comedouro e bebedouro foi utilizado em lotes de frangos de corte até os 32 dias, os pesquisadores não observaram diferença no peso das aves, entretanto o consumo de ração e consequentemente a conversão alimentar foram maiores no grupo que foi alojado em cama de maravalha mostrando a eficiência do piso de plástico parcial (Sonnabend et al., 2022). Outros autores também encontraram resultados semelhantes em frangos criados até os 28 dias, mostrando que o piso parcialmente perfurado não altera as condições de desempenho (Adler et al., 2020).

Comparando piso plástico total, parcial e casca de arroz não houve diferença na conversão alimentar e mortalidade, sendo que as aves do piso de plástico (total ou parcial) apresentaram maior peso (mais de 200g de diferença) e maior consumo de ração em relação as aves criadas sobre a casca de arroz (Topal e Petek, 2021).

Embora a maravalha seja o material de cama mais utilizado na avicultura de corte, quando realizada pesquisa comparando diversos materiais de cama como maravalha, casca de arroz, palha de trigo, piso plástico e gaiolas para frangos até os 39 dias observou-se ganho de peso significativamente maior e peso vivo, bem como, menor consumo de ração e melhor conversão alimentar em frangos de corte criados em piso plástico e gaiola (Soliman e Hassan, 2020).

Estudo realizado com frango de corte até os 42 dias em situação de estresse térmico e em duas condições de cama (piso plástico e maravalha), mostrou que as aves criadas sobre piso plástico apresentaram ganho de peso maior do que as criadas sobre maravalha (Almeida et al., 2018). O tratamento piso plástico obteve resultados de menor viabilidade e os autores relacionaram essa condição as limitações de troca

térmica do frango com o piso plástico, não sendo indicado em situações de alta temperatura.

Comportamento das aves

No sistema de produção de frangos de corte, além da cama ter propriedade absorviva, ela deve proporcionar condições às aves expressarem seu repertório comportamental. O ambiente dos aviários apresentam limitações exploratórias, pois possuem somente o material de cama, comedouros e bebedouros, não oferecendo estruturas elevadas para o uso do espaço vertical (Malchow et al., 2019).

As aves tem comportamento natural de empoleirar-se e quando não há estruturas para realizar a ação, podemos relacionar a ausência dessas condições a redução de bem-estar (May et al., 2022). Estruturas elevadas reduzem o medo, pois é um comportamento anti-predador que traz segurança às aves em condições naturais (Newberry et al., 2001). Embora ocorra uma maior preocupação nesse sentido para o setor de aves de postura, autores pesquisaram a preferência do frango de corte entre poleiros e plataformas (pisos/grades), avaliando sua atividade e concluíram que há uma preferência por plataformas, sendo mais usadas durante o dia (Norrington et al., 2016). Frangos de corte de crescimento lento e médio, apresentaram maior uso de estruturas elevadas quando comparados a frangos de crescimento rápido e o uso dessas estruturas é mais significativo a partir da segunda semana de vida, durante o amanhecer (Malchow et al., 2019).

Analisando a preferência pelo piso plástico em áreas de bebedouro e comedouro, pode-se verificar a preferência do frango de corte por essa área, não somente para se alimentar, mas também para realizar outros comportamentos sendo visualizado um maior número de animais na área de piso, mostrando a atratividade do piso plástico em sistemas parciais de piso e maravalha (May et al., 2022). Na pesquisa o piso ficou a 15 cm da cama, com angulação de 30°, servindo de ponto de elevação, semelhante a um poleiro, mas com maior área e com isso maior conforto para o frango de corte que possui peso corporal superior as aves de postura.

Testes de apanha, de aproximação e de introdução de um novo objeto, são indicadores de avaliação de bem-estar, estando relacionados ao medo e a interação humano-animal (Welfare Quality, 2009). As aves criadas sobre piso parcialmente plástico, apresentaram maior interação com o objeto novo e menor medo, medido através do número de animais ao alcance do observador, ratificando que uma superfície

de fuga como áreas elevadas de plástico é positiva para o bem-estar das aves (Adler et al., 2020).

Outro ponto a ser analisado em relação ao comportamento das aves e o uso de piso plástico, é que o uso de um piso 100% plástico possui desvantagem pela ausência de material para exercitar comportamentos específicos e naturais, como o banho de cama, ciscar e bicar. O banho de cama é um comportamento natural, com importância social, reduzindo os comportamentos de agressividade, melhorando a manutenção das penas, proporcionando mais mobilidade e bem-estar as aves (Shields et al., 2004). Embora haja uma diminuição da frequência desses comportamentos ao longo da vida, estudos mostraram que determinados comportamentos ativos, como banho de cama, bicar e arranhar, tendem a aumentar com a idade, quando as aves estão em substratos específicos, sugerindo a necessidade de substratos diferentes nas granjas (Villagra et al., 2014).

Sanidade

A utilização de piso plástico perfurado é vista como uma alternativa para minimizar o contato prolongado das aves com as excretas e a alta umidade das camas de substratos orgânicos como casca de arroz, maravalha, palhas, etc. Quando se pensa em sanidade e diminuição do risco de contaminação, os fatores descritos anteriormente são determinantes. Os materiais vegetais ficam mais propensos a decomposição, e as condições abióticas são o principal ponto para o desenvolvimento de lesões patológicas como dermatites, calo de peito e lesões de jarrete (Kaukonen et al., 2016).

A ocorrência de pododermatite, lesões de jarrete e calo de peito estão intimamente relacionadas com a qualidade de cama e o bem-estar das aves. Pode-se correlacionar a piora na qualidade da cama com o aumento da incidência destas lesões, e mesmo a cama apresentando baixa umidade durante o período de criação, esta não é garantia de patas saudáveis (Kaukonen et al., 2016).

Alguns autores utilizaram o piso parcial para diminuir a umidade da cama, mantendo o piso plástico na área abaixo dos bebedouros (Sonnabend et al., 2022). A cama que tinha o piso parcial, apresentou menor umidade até os 14 dias na área de descanso e até os 28 dias na área de bebedouros. Os mesmos autores analisaram dermatite plantar e com 7 e 14 dias as aves do piso plástico tinham os maiores escore, enquanto que nos dias 21 e 28 passou a ser o grupo controle (criado sobre a maravalha)

o mais afetado, sendo que as aves apresentavam uma piora nos calos de pata na fase final do experimento.

Resultados semelhantes foram encontrados por Adler et al. (2020), sendo que as aves criadas sobre piso parcialmente perfurado apresentaram escores de pododermatite quase que estáveis dos 14 até os 28 dias, quando comparadas com as aves criadas sobre a maravalha, apresentando diferença significativa entre os dois materiais de cama. Além de efeitos positivos do piso parcialmente de plástico sobre a pododermatite, houve uma melhora nas lesões de jarrete aos 28 dias. O piso plástico minimiza problemas locomotores, mesmo em aves mais pesadas com 47 dias de idade, conforme resultados encontrados por Çavuşoğlu et al. (2018), pois as aves criadas sobre cama profunda apresentaram maiores escores de lesão de jarrete e pododermatite.

Nos estudos de Topal e Petek (2021), quanto maior foi o uso de casca de arroz como material de cama, maior foi a incidência de pododermatite e lesões de jarrete, mostrando que o piso de plástico em 100% do aviário proporciona melhores condições para as patas de frango de corte, seguido pelo piso misto com 50% de piso plástico e 50% de casca de arroz, e por último a cama com 100% de casca de arroz.

Quando analisada a incidência de foliculite das penas, observou-se que as aves criadas em piso de plástico apresentaram maior incidência quando comparada as aves criadas em cama de casca de arroz (Andrews et al., 1990).

A cama pode influenciar na qualidade do ambiente e consequentemente na predisposição a contaminações e doenças. Estudos recentes registraram que o uso de maravalha, casca de arroz e palha de trigo em comparação com o uso de pisos e sistemas de gaiolas para frango de corte contribuíram para níveis mais altos de dióxido de carbono e amônia no ar, proporcionando condições que podem favorecer o desenvolvimento de doenças (Solimann e Hassan, 2020). Além disso, a mesma pesquisa apontou melhora de parâmetros relacionados a imunidade e menor contagem bacteriana de *swabs* intestinais de frangos criados em pisos e gaiolas do que os criados sobre os demais materiais de cama, atribuído a condições higiênico sanitárias dos pisos e gaiolas.

Madelin e Wathes (1989) compararam a cama de maravalha com o piso de plástico elevado em relação a qualidade de ar e os microrganismos encontrados nos dois ambientes. Os autores observaram que as aves criadas sobre a maravalha, apresentaram maior incidência de lesões pulmonares, em função da contaminação respiratória oriunda do ambiente, ou seja, houve diferença na contagem de microrganismos oriundos do ar, mas não em relação aos teores de amônia.

Rendimento e qualidade de carcaça

Fatores ambientais interferem significativamente nas características de rendimento e qualidade da carcaça de frangos (Okasha, 2021). Além de influenciar diretamente nos índices de desempenho, a cama pode interferir de forma indireta em parâmetros de qualidade de carcaça. As aves quando acometidas por lesões de patas mais severas, em decorrência da contaminação bacteriana, compactação e alta umidade da cama, tendem a diminuir o consumo em virtude da limitação de deslocamento ou por dor. Isso se reflete no ganho de peso, rendimento e alto índice de condenações das carcaças (Hashimoto et al., 2013).

Embora as pesquisas apresentem um efeito positivo do piso plástico em relação aos demais materiais de origem vegetal no quesito desempenho, avaliar a carcaça torna-se necessário, já que está relacionado com o produto final e lucratividade para a indústria avícola.

Comparando diferentes sistemas de criação de frango de corte, *free range*, piso plástico e cama de casca de arroz, Özbek et al. (2020) mostraram melhores resultados de peso e rendimento de carcaça no sistema *free range*, não diferindo entre as aves criadas sobre piso plástico e casca de arroz. Além disso, não houve diferença em relação a qualidade da carne, exceto para o aspecto de vermelho (a*), sendo que as aves criadas sobre cama de casca de arroz apresentaram a carne mais escura da perna do que as criadas ao ar livre e no piso de plástico, o que pode estar relacionado a qualidade da cama desse sistema, em virtude da deterioração do material.

Os maiores pesos de carcaça e cortes de frango (peito e asa) se deram nas aves criadas sobre piso de plástico em conjunto com casca de arroz, seguido pelo piso plástico, e a casca de arroz pura se mostrou menos viável quando observadas essas características na carcaça de frangos (Topal e Petek, 2021). Pesquisas analisaram a qualidade da carcaça e verificaram que o peito das aves criadas sobre piso plástico foi mais acometido por lesões do que das aves criadas sobre casca de arroz ou maravalha (Çavuşoğlu et al., 2018; Topal e Petek, 2021).

Uso de nanotecnologia na avicultura

A definição de nanotecnologia relaciona-se a nanoescala, que abrange de 1-100 nm e envolve propriedades químicas, físicas e biológica (Nasrollahzadeh, 2019). Essa tecnologia está sendo amplamente difundida nas pesquisas científicas, mostrando ter um

potencial nas diversas áreas das indústrias. O conceito de nanotecnologia não é muito recente e vem crescendo em virtude da sua capacidade em nanoescala de produtos com baixo custo, acessibilidade, segurança e uma tecnologia mais limpa dos que as utilizadas anteriormente, suprimindo a demanda da sociedade no quesito sustentabilidade (Malik et al., 2023). Quando utilizado a nanotecnologia, podemos minimizar os resíduos de minerais depositados no ambiente, já que ocorre uma otimização do aproveitamento dessas moléculas em virtude da nanoescala e biodisponibilidade (Michalak et al., 2022).

No setor da avicultura a nanopartícula é utilizada com vários propósitos como substitutos de antibióticos, melhorando a biodisponibilidade de aminoácidos essenciais, aumentando a absorção de vitaminas e minerais e favorecendo a eficácia de vacinas e medicamentos (Ghazaghi, et al., 2024). Além disso, pode ser utilizada no produto final, aumentando a vida útil e a qualidade dos alimentos, principalmente em função de desinfetantes de equipamentos das indústrias alimentícias, na composição de materiais que evitam biofilmes de bactérias e embalagens com propriedades antibacterianas (King et al., 2018).

Na forma de aditivos alimentares com finalidade de favorecer o desempenho, saúde das aves e redução do estresse oxidativo são utilizadas diferentes nanopartículas de metais e óxidos metálicos, sendo os principais o zinco, prata e cobre (Michalak et al., 2022). Quando associado o uso de nanopartículas de metionina na nutrição de frangos de corte obteve-se evolução no desempenho desses animais, acarretando em melhor aproveitamento nutricional e lucratividade para o setor avícola (Ghazaghi, et al., 2024). Outro estudo utilizando partículas de nano vitamina E, concluíram que houve uma melhora no desempenho antioxidante em frangos de corte, em virtude da biodisponibilidade dessa molécula (Zhou et al., 2024). Em poedeiras, a suplementação com nano óxido de ferro proporcionou aumento nos índices de desempenho, algumas características qualitativas do ovo e na resposta imune, além de diminuir os lipídios séricos em galinhas poedeiras (Javadifar et al., 2020).

Outra forma de utilizar a nanotecnologia é através de moduladores intestinais, diminuindo a população de *Escherichia coli*, *Streptococcus*, *Salmonella*, obtendo uma ação antimicrobiana, inclusive na contagem da população de mesófilos da cama de frangos de corte (Ahmadi, 2012; Dobrzanski et al., 2010). As nanopartículas de minerais promovem atividades contra patógenos, tendo ação sobre vírus, bactérias e micotoxinas agindo até mesmo sobre bactérias mais resistentes (Michalak et al., 2022). Nanopartículas de selênio fornecidas via água de bebida de frangos de corte foram

capazes de melhorar os comportamentos (frequências de alimentação e consumo de água), perfil bioquímico, funções imunológicas e antioxidantes, além de minimizar os graus de lesão por *E. coli* (Ali et al., 2020).

Outra forma de utilizar nanotecnologia na avicultura é através da pulverização de partículas em escala nanométrica na cama de frango, como forma de minimizar a emissão de amônia. Pesquisa realizadas nesse segmento, mostrou que as nanopartículas de óxido de zinco, óxido de cobre e alumínio, são eficientes no controle microbiológico da cama de frango melhorando as condições ambientais dos aviários (Zarnab et al., 2022).

Embora venha aumentando as pesquisas com nanotecnologia na produção e sanidade animal, não há achados voltados ao uso dessa tecnologia nos equipamentos e instalações dos animais fomentando dessa forma novas pesquisas na área.

3. Conclusão

Historicamente, a academia avícola busca materiais que favoreçam o desempenho e bem-estar das aves quando o assunto é cama, variando desde a criação em gaiolas, materiais vegetais alternativos e pisos plásticos.

O piso plástico possui um potencial a ser explorado pelas pesquisas futuras. Em função da heterogeneidade de resultados, encontrar um material plástico com características que atenda às necessidades das aves, diminuindo riscos sanitários e favorecendo a parte econômica é o maior desafio da indústria. O desafio ainda se estende a questões de ambiência, obtendo qualidade de ar e condições para manter uma boa climatização, principalmente em temperaturas mais elevadas.

No setor avícola existem lacunas a serem preenchidas quando o assunto é nanotecnologia, já que há uma vasta área a ser pesquisada no quesito de adicionar essas moléculas a estrutural e equipamentos, seguindo o exemplo de outras áreas da indústria. Além disso essa tecnologia possui baixo custo e redução de resíduos gerados ao ambiente em virtude do seu aproveitamento.

Referências

Abougabal, M. S.; Tabooha, M. F. and Shehata, A. M. 2022. Effect of different types of available litter materials on the performance and welfare of broiler chicks. 1-22. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1374208/v1>

Adler, C.; Tiemann, I.; Hillemacher, S.; Schmithausen, A. J.; Müller, U.; Heitmann, S.; Spindler, B.; Kemper, N. and Büscher, W. 2020. Effects of a partially perforated flooring system on animal-based welfare indicators in broiler housing. *Poultry Science* 99:3343-3354. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.04.008>

Akpobome, G. O. and Fanguy, R. C. 1992. Evaluation of cage floor systems for production of commercial broilers. *Poultry Science* 71:274-280. <https://doi.org/10.3382/ps.0710274>

Almeida, E. A.; Sant'Anna, A. C.; Crowe, T. G.; Macari, M. and Furlan, R. L. 2018. Poultry rearing on perforated plastic floors and the effect on air quality, growth performance, and carcass injuries—Experiment 2: Heat stress situation. *Poultry Science* 97:1954-1960. <https://doi.org/10.3382/ps/pey048>

Ali, A.A.; Soliman, E.S.; Hamad, R.T.; El-Borad, O.M., Hassan, R.A. and Helal, M.S. 2020. Preventive, behavioral, productive, and tissue modification using green synthesized selenium nanoparticles in the drinking water of two broiler breeds under microbial stress. *Brazilian Journal of Poultry Science* 22(01):eRBCA-2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1129>

Andrews, L. D. 1972. Cage rearing of broilers. *Poultry Science* 51:1194-1197. <https://doi.org/10.3382/ps.0511194>

Andrews, L. D.; Whiting, T. S. and Stamps, L. 1990. Performance and carcass quality of broilers grown on raised floorings and litter. *Poultry Science* 69:1644-1651. <https://doi.org/10.3382/ps.0691644>

Chuppava, B.; Visscher, C. and Kamphues, J. 2018. Effect of different flooring designs on the performance and foot pad health in broilers and turkeys. *Animals* 8:70. <https://doi.org/10.3390/ani8050070>

Çavuşoğlu, E.; Petek, M.; Abdourhamane, I. M.; Akkoc, A. and Topal, E. 2018. Effects of different floor housing systems on the welfare of fast-growing broilers with an extended fattening period. *Archives Animal Breeding* 61:9-16. <https://doi.org/10.5194/aab-61-9-2018>

Dobrzanski, Z.; Zygodlik, K.; Patkowska-Sokola, B.; Nowakowski, P.; Janczak, M.; Sobczak, A.; Bodkowski, R. 2010. The effectiveness of nanosilver and mineral sorbents

in the reduction of ammonia emissions from livestock manure. *Przemysl Chemiczny*. 89:348–351.

Freire, R.; Wilkins, L. J.; Short, F. and Nicol, C. J. 2003. Behaviour and welfare of individual laying hens in a non-cage system. *British Poultry Science* 44:22-29. <https://doi.org/10.1080/0007166031000085391>

Ghazaghi, M.; Mehri, M.; Asghari-Moghadam, M. and Mehri, M. 2024. A novel methionine nanoparticle in broiler chickens: Bioavailability and requirements. *Plos one*, 19:4 e0302230. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0302230>

Hartcher, K. M. and Lum, H. K. 2019. Genetic selection of broilers and welfare consequences: a review. *World's Poultry Science Journal* 76:154-167. <https://doi.org/10.1080/00439339.2019.1680025>

Hashimoto, S.; Yamazaki, K.; Obi, T. and Takase, K. 2013. Relationship between severity of footpad dermatitis and carcass performance in broiler chickens. *Journal of Veterinary medical Science* 75:1547-1549. <https://doi.org/10.1292/jvms.13-0031>

Javadifar, A.; Hosseini-vashan, S. J.; Montazer Torbati, M. B. and Shamshirgran, Y. 2020. The Effect of Iron Nano Oxide on performance, Egg Quality indices and Antioxidant status of laying hen. *Animal Sciences Journal* 33:125-140. <https://doi.org/10.22092/asj.2019.125781.1900>

Kaukonen, E.; Norring, M. and Valros, A. 2016. Effect of litter quality on foot pad dermatitis, hock burns and breast blisters in broiler breeders during the production period. *Avian Pathology* 45:667-673. <https://doi.org/10.1080/03079457.2016.1197377>

King, T.; Osmond-McLeod, M. J. and Duffy, L. L. 2018. Nanotechnology in the food sector and potential applications for the poultry industry. *Trends in Food Science & Technology*. 72: 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.015>

Leone, E. H. and Estévez, I. 2008. Economic and welfare benefits of environmental enrichment for broiler breeders. *Poultry Science* 87:14-21. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00154>

- Madelin, T. M. and Wathes, C. M. 1989. Air hygiene in a broiler house: Comparison of deep litter with raised netting floors. *British Poultry Science* 30:23–37. <https://doi.org/10.1080/00071668908417122>
- Malchow, J.; Berk, J.; Puppe, B. and Schrader, L. 2019. Perches or grids? What do rearing chickens differing in growth performance prefer for roosting? *Poultry Science* 98:29-38. <https://doi.org/10.3382/ps/pey320>
- Malik, S.; Muhammad, K. and Waheed, Y. 2023. Nanotechnology: A revolution in modern industry. *Molecules* 28: 661. <https://doi.org/10.3390/molecules28020661>
- May, F.; Stracke, J.; Heitmann, S.; Adler, C.; Krasny, A.; Kemper, N. and Spindler, B. 2022. Structuring Broiler Barns: How a Perforated Flooring System Affects Animal Behavior. *Animals* 12:735. <https://doi.org/10.3390/ani12060735>
- Michalak, I.; Dziergowska, K.; Alagawany, M.; Farag, M. R.; El-Shall, N. A.; Tuli, H. S.; Emran, T.B. and Dhama, K. 2022. The effect of metal-containing nanoparticles on the health, performance and production of livestock animals and poultry. *Veterinary Quarterly* 42:68-94. <https://doi.org/10.1080/01652176.2022.2073399>
- Nasrollahzadeh, M.; Sajadi, S.M; Sajjadi, M. and Issaabadi, Z. 2019. An introduction to nanotechnology. In *Interface science and technology*. Elsevier 28:1-27. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8>
- Newberry, R. C.; Estevez, I. and Keeling, L. J. 2001. Group size and perching behaviour in young domestic fowl. *Applied Animal Behaviour Science* 73:117-129. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00135-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00135-6)
- Norring, M.; Kaukonen, E. and Valros, A. 2016. The use of perches and platforms by broiler chickens. *Applied Animal Behaviour Science* 184:1-96. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.07.012>
- Okasha, H. M. 2021. Effect of flock age, air pressure and litter types on carcass traits and meat quality of broiler chicks. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor* 59:435-444. <https://doi.org/10.21608/ASSJM.2021.186382>

- Özbek, M.; Petek, M. and Ardıçlı, S. 2020. Physical quality characteristics of breast and leg meat of slow-and fast-growing broilers raised in different housing systems. *Archives Animal Breeding* 63:337-344. <https://doi.org/10.5194/aab-63-337-2020>
- Puron, D.; Santamaria, R.; Segura, J. C. and Alamilla, J. L. 1995. Broiler performance at different stocking densities. *Journal of Applied Poultry Research* 4:55-60. <https://doi.org/10.1093/japr/4.1.55>
- Reece, F. N.; Deaton, J. W.; May, J. D. and May, K. N. 1971. Cage versus floor rearing of broiler chickens. *Poultry Science* 50:1786-1790. <https://doi.org/10.3382/ps.0501786>
- Sander, J. E.; Wilson, J. L.; Cheng, I. H. and Gibbs, P. S. 2003. Influence of slat material on hatching egg sanitation and slat disinfection. *Journal of Applied Poultry Research* 12:74-80. <https://doi.org/10.1093/japr/12.1.74>
- Shields, S. J.; Garner, J. P. and Mench, J. A. 2004. Dustbathing by broiler chickens: a comparison of preference for four different substrates. *Applied Animal Behaviour Science* 87:69-82. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.01.003>
- Shynkaruk, T.; Long, K.; LeBlanc, C. and Schwean-Lardner, K. 2023. Impact of stocking density on the welfare and productivity of broiler chickens reared to 34 d of age. *Journal of Applied Poultry Research* 32:100344. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2023.100344>
- Simpson, G.D. and Nakaue, H.S. 1987. Performance and carcass quality of broilers reared on wire flooring, plastic inserts, wood slats, or plastic-coated expanded metal flooring each with or without padded roosts. *Poultry Science* 66:1624-1628. <https://doi.org/10.3382/ps.0661624>
- Soliman, E. S. and Hassan, R. A. 2020. Influence of housing floor on air quality, growth traits, and immunity in broiler chicken farms. *Advances in Animal and Veterinary Sciences* 8:997-1008. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2020/8.9.997.1008>
- Sonnabend, S.J.; Spieb, F.; Reckels, B.; Ahmed, M.F.; El-Wahab, A.A.; Sürrie, C.; Lingens, J.C. and Visscher, C. 2022. Influence of Using Perforated Plastic Flooring Beneath the Waterline on Growth Performance, Litter Quality, and Footpad Health of Broiler Chickens: A Field Study. *Animals* 12:1749. <https://doi.org/10.3390/ani12141749>

- Tallentire, C. W.; Leinonen, I. and Kyriazakis, I. 2016. Breeding for efficiency in the broiler chicken: A review. *Agronomy for Sustainable Development* 36:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2023.100344>
- Toghyani, M.; Gheisari, A.; Modaresi, M.; Tabeidian, S. A. and Toghyani, M. 2010. Effect of different litter material on performance and behavior of broiler chickens. *Applied Animal Behaviour Science* 122:48-52. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.11.008>
- Topal, E. and Petek, M. E. T. İ. N. 2021. Effects of fully or partially slatted flooring designs on the performance, welfare and carcass characteristics of broiler chickens. *British Poultry Science*, 62:804-809. <https://doi.org/10.1080/00071668.2021.1934399>
- Villagra, A.; Olivas, I.; Althaus, R. L.; Gómez, E. A.; Lainez, M. and Torres, A. G. 2014. Behavior of broiler chickens in four different substrates: a choice test. *Brazilian Journal of Poultry Science* 16:67-75. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2014000100010>
- Weeks, C. A.; Danbury, T. D.; Davies, H. C.; Hunt, P. and Kestin, S. C. 2000. The behaviour of broiler chickens and its modification by lameness. *Applied Animal Behaviour Science* 67:111-125. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00102-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00102-1)
- Welfare Quality. 2009. The Welfare Quality® assessment protocol for poultry (broilers, laying hens). The Welfare Quality® Consortium, Lelystad, The Netherlands.
- Zarnab, S.; Javed, M.T.; Gul, A.H.S.T.; and Mahmood, M.S. 2022. The Chicken In-House Environment Can be Improved by the Use of Nanotechnology. *Pakistan Veterinary Journal* 42:4. <https://doi.org/10.29261/pakvetj/2022.062>
- Zhou, J.; Li, Z.; Guo, W.; Wang, Y.; Liu, R.; Huang, X.; Li, Y.; Yang, X.; Liu, L.; Liu, Y. and Xu, X. 2024. Nano vitamin E improved the antioxidant capacity of broiler chickens. *Journal of Animal Science*. 102, skae095. <https://doi.org/10.1093/jas/skae095>
- Zulkifli, I. and Khatijah, A. S. 1998. The relationship between cage floor preferences and performance in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 11:234-238. <https://doi.org/10.5713/ajas.1998.234>

CAPÍTULO 2
PISO PLÁSTICO COMO ALTERNATIVA DE CAMA E SEU IMPACTO NO
BEM-ESTAR DE FRANGOS DE CORTE

Projeto aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA)/UFGD
Nº de protocolo: 01/2021.

Redigido de acordo com as normas adaptadas da Revista Brasileira de Zootecnia.
Qualis A2 (2020), fator de impacto – JCR 1,000 (2022).

Piso plástico como alternativa de cama e seu impacto no bem-estar de frangos de corte

RESUMO: O objetivo com esse trabalho foi avaliar o comportamento e a incidência de problemas locomotores de frangos de corte até os 42 dias de idade criados sobre dois tipos de piso plástico (com e sem antimicrobiano nanotecnológico), em comparação ao sistema convencional de cama com maravalha. Foram utilizados 1500 pintainhos de corte de um dia de idade, machos, da linhagem Ross 408®, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em 5 tratamentos: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA), com seis repetições, totalizando 30 boxes, com 50 aves cada. Como forma de avaliar a variação de temperatura na fase inicial, mensurou-se temperatura corporal, temperatura superficial das patas e da cama. Parâmetros de comportamento foram avaliados *in loco*, nos períodos 6h, 11h e 16h com 3, 9, 16, 22, 29 e 40 dias de idade das aves. A limpeza das penas foi avaliada por escore aos 40 dias. As análises de problemas locomotores foram avaliadas com 20, 27, 34 e 41 dias, sendo as aves marcadas para verificar a progressão das lesões. Avaliou-se pododermatite, lesões de jarrete, *gait score*, desvios de angulação das pernas em relação ao eixo central e *latency to lie*. Após o abate analisou discondroplasia tibial e degeneração femoral. As análises de espondilolistese e radiográfica dos pés foram feitas com o material armazenado à -15°C. Não houve efeito do tipo de cama na temperatura superficial dos materiais e temperatura corporal das aves. Em relação a temperatura superficial das patas, não houve efeito dos materiais de cama aos 2 e 15 dias. Aos 8 dias no período das 16 h, os pintainhos criados sobre PPA, apresentaram menor temperatura das patas do que os criados sobre MA, PP + MA, PPA + MA. O piso plástico não interferiu no comportamento das aves na fase inicial. Com 29 dias as aves do tratamento PP permaneceram mais em pé do que as do MA e PP+MA. Aos 40 dias as aves criadas sobre o PP e PPA apresentaram maior frequência do comportamento sentada. As aves criadas sobre PPA+MA apresentaram os maiores escores de sujidade de penas. A avaliação de *gait score*, apresentou diferença somente aos 41 dias, sendo que as aves criadas em MA, PP+MA e PPA+MA apresentaram menor escore. As aves criadas sobre o PPA apresentaram maior escore de lesão de pododermatite. Com 41 dias houve um aumento significativo das lesões para os tratamentos com PP e PPA em relação aos que continham maravalha (MA, PP+MA e PPA+MA) para jarrete. Os menores desvios de angulação foram encontrados nas aves criadas sobre a MA, PP+MA, PPA+MA. Aos 41 dias o piso plástico (PP e PPA) interferiu negativamente na avaliação de *latency to lie*, e as aves criadas na MA permaneceram em pé por mais tempo. As aves criadas sobre piso plástico (PP e PPA) apresentaram maiores escores de degeneração femoral. Não houve diferença nos parâmetros de discondroplasia, espondilolistese, fraturas e luxações. Os pisos plásticos utilizados nesse estudo não interferiu na temperatura corporal dos frangos de corte em um período crítico de aquecimento como o da fase inicial de criação. Podem ser indicados para frangos de corte sem afetar o bem-estar desde que seja utilizado em conjunto com a maravalha. Outra alternativa de uso seria até próximo

aos 27 dias de vida, como frangos do tipo *griller*, que são mais leves e abatidos mais jovens. Para frangos aos 42 dias, há uma interferência negativamente do piso plástico na maioria dos parâmetros de problemas locomotores avaliados.

Palavras-chave: antimicrobiano, comportamento, nanotecnologia, maravalha, problemas locomotores.

1. Introdução

O Brasil no ano de 2024 está com projeção de 1% de crescimento de produção de carne de frango, com estimativa de 15 milhões de toneladas produzidas, solidificando a sua posição, tendendo a aumentar a disparidade em relação a China em 8,5% (USDA, 2024). Esse cenário se dá em virtude do aumento do consumo de carne de frango, custo reduzido dos insumos e previsão de uma safra favorável, além do Brasil ter amplo acesso ao mercado em relação aos demais exportadores (USDA, 2023). Com o aumento da produção e consumo de carne, há também um aumento dos subprodutos como os pés de frangos, que são muito utilizados pelas indústrias por serem ricos em colágeno (Santana et al., 2021). Segundo Teixeira et al. (2019) na indústria frigorífica o pé de frango possui três classificações conforme o grau de lesão e as exigências do consumidor, sendo que as lesões graves de pododermatite podem inviabilizar a comercialização desse produto para consumo humano.

Além das lesões de pododermatite restringirem o comércio e exportações dos pés, ela afeta de forma indireta o desempenho das aves, já que com limitações de locomoção, as aves não conseguem se alimentar adequadamente, resultando em baixo consumo de água e ração e conseqüentemente baixo peso corporal, reduzido rendimento de carcaça e aumento da mortalidade (Weeks et al., 2000; Fidan et al., 2020). Com isso, as premissas de bem-estar animal são afetadas, pois os frangos sentem dor, fome e sede, não consegue se locomover e expressar seus comportamentos naturais e está susceptível a enfermidades como lesões de carcaça, jarrete, pernas e patas.

A qualidade da cama afeta o bem-estar das aves, visto que o frango de corte passa a maior parte da sua vida em contato com o material, principalmente após as três semanas, quando permanece mais tempo deitado (Boussaada et al., 2022). É comum a cama com substrato vegetal apresentar alta umidade nos sistemas intensivos de produção de frangos e alternativas como gaiolas ou piso ripado foram pesquisadas para minimizar esse problema (Garces et al., 2013; Shields et al., 2013; Chuppava et al., 2018). Contudo a restrição de frangos em gaiolas, causa preocupações em relação ao bem-estar, favorecendo assim o uso de piso parcial ou totalmente ripado (Çavdarci et al., 2022).

A alta umidade da cama é determinante para piora das dermatites de contato as quais são de etiologia multifatorial, como por exemplo, o uso de piso de concreto nos galpões, profundidade de cama e fluxo de ar dentro das instalações (Pepper e Dunlop, 2021). Além da umidade, nas camas convencionais temos o fator contaminação

microbiológica, que pode acarretar em dermatites de contato, causando lesões de jarretes, patas e peito (Shepherd and Fairchild, 2010). Com o piso plástico como material de cama, tem-se a possibilidade de agregar o uso de nanotecnologia com efeito antimicrobiano, que permite o controle de patógenos, diminuindo a formação de biofilmes com o uso de agentes orgânicos e inorgânicos, como o óxido de zinco (Al-Tayyar et al., 2020).

Uma forma de avaliar a qualidade de cama e o bem-estar das aves é através de escore de limpeza das penas, pois a ave com as penas úmidas e sujas com material de cama e fezes tem sua proteção afetada, prejudicando sua saúde e bem-estar (Welfare Quality, 2009). Pesquisas apontam um efeito positivo do piso plástico sobre a limpeza das aves, enquanto que as aves criadas sobre cama convencional apresentam penas mais sujas, com escores elevados (Çavusoglu e Petek, 2019).

O piso plástico apresenta características de maior durabilidade e economia, visto que não necessita de reposição ou substituição, possui facilidade de instalação e limpeza e baixa incidência de pododermatite (Farghly et al., 2018). Além disso, utilizar o piso plástico em áreas estratégicas, como abaixo de bebedouros, traz benefícios na qualidade da cama, principalmente nas primeiras semanas, com resultados positivos para pododermatite (Sonnabend et al., 2022). O objetivo com esse trabalho foi avaliar o comportamento e a incidência de problemas locomotores de frangos de corte até os 42 dias de idade criados sobre dois tipos de piso plástico (com e sem antimicrobiano nanotecnológico), em comparação ao sistema convencional de cama com maravalha.

2. Material e métodos

Criação das aves e delineamento experimental

Todos os procedimentos adotados foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFGD (Protocolo nº 01/2021). O presente estudo foi realizado em um aviário experimental da cidade de Dourados, no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, durante o mês de junho. A região possui latitude 22°13'18" S, longitude 54°48'23" W e altitude de 430 m e classificação climática de clima tropical úmido com inverno seco (Cwa) (Köppen 1948), sendo o período experimento realizado no inverno, com temperatura média de 15,2°C. O aviário possui boxes de 4 m² equipados com bebedouros pendulares, comedouros tubulares, cortinas e sobrecortinas, para controlar a temperatura interna. Para o aquecimento na fase inicial utilizou-se uma lâmpada infravermelhas de 250 W por box. Até o 3º dia, utilizou-se papel tipo *kraft*

sobre a cama para favorecer o fornecimento de ração, sendo retirado após esse período. Adotou-se até o 7º dia, um comedouro infantil por boxe e até o 10º dia o uso de círculo de proteção com placas de fibra de madeira. O programa de luz utilizado foi de 23h luz e 1h de escuro até os 7 dias, passando após esse período gradativamente para 6h de escuro, conforme o manual da linhagem Ross®, com lâmpadas de 40 W, obtendo-se 22 lúmens/m².

Foram utilizados 1500 pintainhos de corte de um dia de idade, machos, da linhagem Ross 408®, com peso médio inicial de 39,9g, e após pesagem e uniformização, foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em 5 tratamentos: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA), apresentado na Figura 1. Foram utilizadas seis repetições, totalizando 30 boxes, com 50 aves cada. A ração experimental foi fornecida *ad libitum*, a base de milho e farelo de soja, de acordo com a fase produtiva atendendo as exigências nutricionais propostas por Rostagno et al. (2017). A densidade utilizada foi de 12,3 aves/m².



Figura 1. Tratamentos utilizados no experimento: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% maravalha e 50% piso plástico (MA + PP); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% maravalha e 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (MA + PPA).

Descrição dos materiais de cama

O piso plástico não comercial utilizado era de polietileno de alta densidade (PEAD), com proteção contra ultravioleta (UV) foi projetado para montagem no interior dos boxes experimentais, com placas encaixáveis no tamanho de 100 x 60 cm e perfurações de 12 x12 mm para passagem das excretas. As placas ficaram suspensas em perfis a 20 cm do piso do aviário.

O aditivo utilizado no piso possuía função antibacteriana e antifúngica, desenvolvido a base de óxido de zinco (MpZn_1300, TSNano, Florianópolis, SC, Brasil) e foi injetado durante a fabricação do piso que possuíam esse tratamento.

A área total dos boxes era de 2,90 x 1,40 m, sendo que no tratamento 50% maravalha e 50% piso de plástico, o piso correspondeu a uma faixa longitudinal de 2,90 x 0,70 m e a maravalha completou as laterais, totalizando 2,90 x 0,70 m de área com maravalha.

A maravalha foi revolvida semanalmente, não realizando reposição do material, mesmo após sua compactação, ocasionando em uma pequena declividade entre o piso plástico e a maravalha nos tratamentos parciais. Não foi realizando nenhum manejo de limpeza dos pisos durante a condução do protocolo experimental.

Temperatura das aves e da cama na fase inicial

Como forma de avaliar a variação de temperatura dos pintainhos na fase inicial em decorrência do material de cama, mensurou-se a temperatura corporal, temperatura superficial das patas e da cama. As avaliações de temperatura foram realizadas em três períodos do dia: 6h, 11h e 16h.

Aos 8 e 15 dias de idade das aves, com a utilização de câmera termográfica infravermelha da marca TESTO®, modelo 880 foram realizadas imagens a um metro de distância da cama. Em virtude da influência do aquecimento por campânulas, não foi realizado a mensuração de imagens termográficas aos 2 dias de idade. Fez-se uma foto de cada repetição e por meio do software Testo IRTSoft® foram selecionados 30 pontos aleatórios distribuídos de forma homogênea nos materiais de cama para determinação da temperatura média. A emissividade utilizada foi de 0,97 para maravalha e 0,93 para o piso plástico, conforme metodologia adaptada de Nascimento et al. (2014). Para os tratamentos PP+MA e PPA+MA, foram utilizados 15 pontos aleatórios em cada tipo de material, de acordo com suas respectivas emissividades e posteriormente realizado a média.

As temperaturas corporal e superficial das patas foram mensuradas em duas aves por repetição, aos 2, 8 e 15 dias de idade. Para temperatura superficial das patas, utilizou-se emissividade 0,95 e realizado a média de 20 pontos aleatórios nas patas de cada animal avaliado conforme metodologia adaptada de Garcia et al. (2019). Para temperatura corporal, utilizou-se um termômetro digital para mensuração da temperatura cloacal.

Comportamento

Parâmetros de comportamento foram avaliados *in loco*, nos períodos 6 h, 11 h e 16 h. Em cada período realizaram-se três observações animal-focal, com intervalos de 30 min. Foram identificadas com tinta não tóxica 12 aves em três repetições de cada tratamento e as mesmas aves foram avaliadas com 3, 9, 16, 22, 29 e 40 dias de idade, observando o comportamento expresso pela ave naquele exato momento da observação, transposto em frequência de comportamento, conforme etograma adaptado de Lucena et al. (2020) (Tabela 1) e metodologia adaptada de Dawson et al. (2021). As análises foram realizada por uma única pessoa.

Tabela 1. Etograma elaborado para avaliação de frangos de corte criados sobre diferentes tipos de materiais de cama.

Comportamentos	Descrição
Em pé	Ave em ócio, em pé, sem se locomover.
Andando	Movimento que caracteriza o deslocamento das aves de um lugar a outro.
Sentada	Corpo das aves está em contato com a cama / piso.
Comendo	Consumindo ou bicando alimento no comedouro.
Bebendo	Consumindo água no bebedouro.
Bicando o piso/maravalha	Bicando o piso ou maravalha.
Explorando penas	Explorando o empenamento com o bico, tanto para manutenção, quanto para investigação.
Movimentos de conforto	Movimentos de esticar as asas e pernas do mesmo lado do corpo simultaneamente, sacudir e ruflar as penas, levantar parte ou ambas as asas próximas ao corpo ou estender as pontas das asas e/ou bater asas.
Ciscando	Quando a ave explora seu território com seus pés e bico, direcionados ao piso.
Banho de “cama”	Revolvendo-se no substrato de cama, espalhando-o pelo corpo.
Bicagem agressiva	Bicagem forte de outra ave provocando reação agressiva ou defensiva, geralmente direcionada à região superior da cabeça e crista ou na região inferior dorsal do pescoço.
Bicagem não agressiva	Bicando a outra ave, de forma a explorar penas e socializar.

Fonte: Adaptado de Lucena et al. (2020).

Limpeza das penas

A limpeza das penas foi avaliada de acordo com o protocolo Welfare Quality (2009), analisando a sujidade do peito de duas aves por repetição aos 40 dias de idade. Foi utilizado o escore como forma de avaliação, sendo (0) penas completamente limpas, (1) levemente suja; (3) moderadamente suja na parte central do peito, (3) sujeira extensa no peito e asas.

Incidência de problemas locomotores

Para as análises de *gait score*, pododermatite, lesão de jarrete, desvio de angulação e *latency to lie* foram avaliadas 10 aves por repetição, nas idades de 20, 27, 34 e 41 dias, sendo as aves marcadas para verificar a progressão das lesões. Todas as medidas que eram atribuídos escore foram realizadas pelo mesmo avaliador.

A avaliação de *gait score* foi baseado na atribuição de escores para a maneira como as aves caminham dentro do boxe em que foram alojadas. Por se tratar de um experimento com diferentes materiais de cama, as aves não foram retiradas do boxe em que foram criadas para realizar a avaliação, mantendo as mesmas condições ambientais desde o alojamento. Foi adotada uma escala de escores de 0 a 3, em que (0) consiste na ave que se deslocou normalmente, (1) a ave caminhou, mas apresentou claudicação ou alguma dificuldade (2) a ave se deslocou em um curto espaço e sentou, necessitando de um estímulo maior para se deslocar, e (3) quando a ave não conseguiu se deslocar, conforme metodologia adaptada de Webster et al. (2008).

O escore de lesões de pododermatite foi classificado da seguinte maneira: (0) nenhuma lesão, (1) pequena lesão no coxim plantar, (2) lesão que acometia todo o coxim plantar, (3) lesão nos dedos e coxim plantar (Figura 2) conforme metodologia adaptada do Welfare Quality (2009).



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 2. Escores de pododermatite de frango de corte.

Para as lesões de jarrete foi considerado escore de 0 a 3, sendo (0) nenhuma evidência de lesão, (1), evidência mínima de lesão com área mais avermelhada, (2) aumento da área lesionada com início de necrose, (3) queimadura aumentada e inchaço na área de jarrete, conforme metodologia adaptada de Welfare Quality (2009).

Para avaliar os desvios de angulação de pernas em relação ao eixo central, foi utilizado um transferidor e uma régua, avaliando o ângulo formado entre a tíbia e o terceiro dedo na perna direita e esquerda. As deformidades foram classificadas da seguinte maneira: escore (0) até 10°, escore (1) de 11° a 20°, escore (2) de 21° a 30° e escore (3) acima de 31° conforme metodologia adaptada de Barbosa et al. (2022).

Para avaliação de *latency to lie*, foram utilizadas 10 aves por análise divididas em dois recipientes transparentes, com 3 cm de altura de água em temperatura ambiente. Com o uso de um cronômetro digital, foi mensurado o tempo necessário para que cada ave realizasse a primeira tentativa de sentar, sendo utilizado como tempo máximo 370 segundos, conforme metodologia de Almeida Paz et al. (2019).

Aos 42 dias de idade, 259 aves marcadas que restaram ao final do experimento, foram submetidas a um período de jejum de 6 horas, eutanasiadas por deslocamento cervical e sacrificadas por sangria da veia jugular, escaldadas a 58°C, depenadas e evisceradas.

Após o abate das aves, foi realizada a avaliação macroscópica de discondroplasia tibial e degeneração femoral nas pernas direita e esquerda. Para discondroplasia tibial observou-se o espessamento da cartilagem de crescimento dos ossos e atribuiu escores conforme o grau de lesão: (0) não há espessamento da cartilagem de crescimento - ave sem lesão; (1) espessamento da cartilagem até 3 mm -

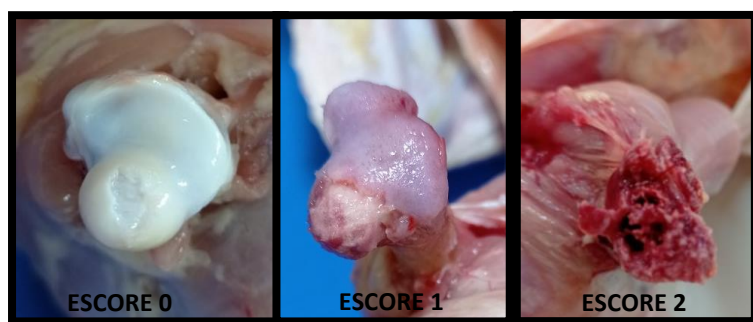
lesão inicial; (2) espessamento maior que 3 mm - lesão grave, conforme metodologia descrita por Almeida Paz et al. (2005) (Figura 3).



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 3. Escore de discondroplasia tibial de frangos de corte aos 42 dias de idade.

Para a avaliar a degeneração femoral, as cabeças do fêmur foram deslocadas e examinadas macroscopicamente por escores variando entre 0 e 2, sendo (0) cabeça de fêmur sem lesão, (1) ausência de cartilagem e cabeça de fêmur com lesão inicial, (2) ausência de cartilagem e cabeça de fêmur com lesão grave, conforme metodologia descrita por Almeida Paz et al. (2008) (Figura 4).



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 4. Escore de degeneração femoral de frangos de corte aos 42 dias.

As carcaças foram armazenadas a -15 °C para posterior análise de espondilolistese. Foi realizado um corte sagital da coluna vertebral com a carcaça ainda congelada para exposição das vertebrae e classificada em ausência ou presença da lesão conforme descrito por Paixão et al. (2007) (Figura 5).

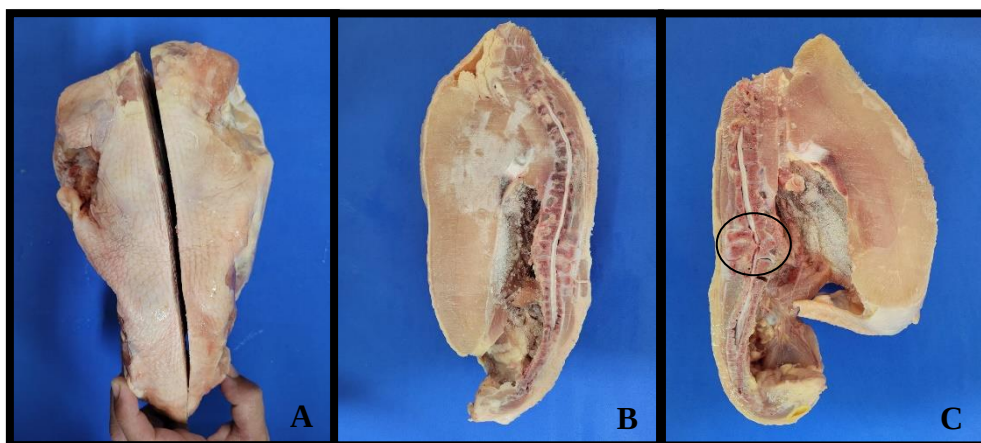


Figura 5. Espondilolistese em frangos de corte aos 42 dias (A) Corte Sagital da coluna vertebral (B) Ausência de lesão (C) Presença de lesão.

Os pés das aves também foram armazenados para posterior análise radiográfica. Foi realizado um comparativo com a anatomia normal das aves para verificação de alterações ósseas, em espaço articular e de tecidos, caracterizando presença ou ausência de luxações ou fraturas. Para a captura das imagens, o posicionamento das patas foi dorso plantar e utilizado aparelho Raio-X Portátil de Alta Frequência Porta 120 HF da marca JOB X Ray, cassetes 18x24 cm e 24x30 cm e um leitor de raio-x computadorizado (CR) (Yan, 2005).

Análise Estatística

Os dados de temperaturas foram avaliados quanto à normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro Wilk e homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. Por atenderem as premissas estatísticas, foi utilizado o PROC MIXED do SAS (2014), para análise de variância. Os modelos estatísticos incluíram o tipo de piso como fator fixo e efeito de animal, aninhado dentro de cada tratamento, incluído como fator aleatório em todos os modelos (comando RANDOM). Quando significativo realizou-se o teste de Tukey para comparação das médias dos tratamentos, considerando o nível de 5%.

Os resultados de comportamento foram analisados utilizando o procedimento SAS GLIMMIX (SAS, versão 9.4, SAS Institute Inc, Cary, NC, EUA). Por não atenderem ao pressuposto de normalidade dos resíduos foram transformados com uso da matriz LOGNORMAL, desta forma o procedimento GLIMMIX modela o logaritmo da variável resposta como uma variável aleatória normal. Ou seja, a média e a variância são estimadas na escala logarítmica, assumindo assim uma distribuição normal. Por

terem sido realizados as análises dos comportamentos em mais de uma ocasião, em diferentes horas dos dias, o efeito do momento da avaliação foi adicionado ao modelo matemático como covariável. Assim, foi realizada uma análise de variância utilizando o PROC GLIMMIX do SAS (2014) na qual os modelos estatísticos incluíram o tipo de piso como fator fixo e o efeito de animal, aninhado dentro de cada tratamento, incluído como fator aleatório (comando RANDOM). Para comparar as médias pelo teste de mínimos quadrados, as estimativas obtidas foram ajustadas pelo link inverso (linhas `pdiff ilink`) do procedimento GLIMMIX. Quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, considerando o nível de 5%. Nas tabelas, para facilitar a compreensão os dados estão expressos em porcentagem da frequência de sua ocorrência na realização dos testes, em relação a todos os comportamentos demonstrados, durante o período de avaliação.

Os dados obtidos para avaliações locomotoras e de sujidade de penas foram dados de escores, portanto, esses dados não têm distribuição normal. Assim, utilizou-se a teoria de modelos lineares generalizados proposta por Nelder e Wenderburn (1972) e aplicou-se o procedimento SAS GLIMMIX (SAS, 2003). A distribuição dos dados foi GAMMA, exceto para os dados de espondilolistese e das imagens radiográficas, em que foi utilizada a distribuição BINÁRIA. A distribuição GAMMA assume que os resíduos de dados têm comportamento exponencial, enquanto a distribuição BINARY assume que os resíduos têm comportamento de Poisson. Para *latency to lie*, *gait score*, pododermatite, lesões de jarrete e desvios angulares, os modelos estatísticos incluíram o tipo de piso utilizado, a semana de idade das aves como medidas repetidas no tempo e suas interações. O efeito de animal, aninhado dentro de cada tratamento, incluído como fator aleatório em todos os modelos (comando RANDOM). Para discondroplasia tibial, degeneração femoral e espondilolistese, os modelos estatísticos incluíram o tipo de piso como fator fixo e efeito do animal, aninhado dentro de cada tratamento, incluído como fator aleatório em todos os modelos (comando RANDOM). Para obter os coeficientes e interceptos das regressões, foi utilizado o comando SOLUTION do procedimento GLIMMIX. Para comparar as médias pelo teste “lsmeans”, as “estimativas” obtidas foram utilizadas em funções de “ligação inversa” e ajustes (linhas `pdiff ilink`) do procedimento GLIMMIX.

3. Resultados

A temperatura superficial dos materiais utilizados como cama e a temperatura corporal das aves (Tabela 2 e 3) não diferiram nos diferentes tipos de cama.

Tabela 2. Temperatura superficial de diferentes materiais de cama (°C): maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA) aos 8 e 15 dias de idade.

Dia	Horas	Materiais de Cama					EPM	Valor de P
		MA	PP	PP + MA	PPA	PPA + MA		
8	6	27,2	26,1	26,4	26,0	26,5	0,604	0,6092
	11	33,0	30,8	31,9	30,5	29,9	0,819	0,1298
	16	27,6	26,0	27,1	26,4	26,6	0,496	0,2151
15	6	15,9	15,3	16,1	14,8	15,5	0,648	0,6176
	11	24,4	23,1	23,7	24,3	23,7	0,830	0,8197
	16	23,7	21,6	22,4	23,9	23,0	0,828	0,2841

EPM: Erro padrão da média

Tabela 3. Temperatura corporal (°C) de pintainhos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA) aos 2, 8 e 15 dias.

Dia	Horas	Materiais de Cama					EPM	Valor de P
		MA	PP	PP + MA	PPA	PPA + MA		
2	6	39,3	39,3	39,2	39,3	39,3	0,162	0,9469
	11	39,7	39,8	39,9	39,7	39,8	0,131	0,8807
	16	39,8	40,1	39,7	39,9	39,7	0,129	0,2142
8	6	39,5	39,7	39,8	40,0	39,6	0,166	0,3313
	11	41,0	41,0	40,9	40,9	40,9	0,126	0,8444
	16	40,3	40,1	40,2	40,4	40,4	0,131	0,3869
15	6	39,3	39,8	40,0	39,7	39,9	0,185	0,0851
	11	40,9	41,0	40,9	41,0	41,2	0,140	0,4643
	16	41,1	41,0	41,0	41,0	41,0	0,090	0,8611

EPM: Erro padrão da média

Em relação a temperatura superficial das patas, não houve efeito dos materiais de cama aos 2 e 15 dias. Aos 8 dias no período das 16 h, os pintainhos criados sobre piso de plástico com antimicrobiano, apresentaram menor temperatura das patas do que

os criados sobre maravalha, piso plástico + maravalha, piso plástico com aditivo + maravalha ($P=0,007$) (Tabela 4).

Tabela 4. Temperatura superficial das patas ($^{\circ}\text{C}$) de pintainhos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA) aos 2, 8 e 15 dias.

Dia	Horas	Materiais de Cama					EPM	Valor de P
		MA	PP	PP + MA	PPA	PPA + MA		
2	6	32,6	33,2	32,4	31,0	32,7	0,594	0,1269
	11	33,4	34,2	34,6	31,7	33,0	0,694	0,0539
	16	34,4	33,2	33,6	32,7	34,2	0,661	0,3501
8	6	32,9	32,6	31,7	34,2	32,5	0,748	0,2142
	11	35,7	36,0	35,0	34,1	35,6	0,548	0,1339
	16	35,3a	34,8ab	35,9a	33,9b	35,6a	0,334	0,0007
15	6	28,5	28,8	28,7	26,7	28,6	1,436	0,8242
	11	36,0	36,2	36,0	35,6	35,9	0,240	0,3919
	16	35,3	34,7	35,6	35,1	35,6	0,282	0,2145

EPM: Erro padrão da média

*Os valores médios na mesma linha seguidos por diferentes letras minúscula diferem significativamente ($P<0,05$).

Aos 3 dias de idade, houve diferença no comportamento explorando penas ($P=0,0286$), sendo que as aves criadas sobre o piso plástico com antimicrobiano exploraram mais as penas do que as que possuíam o mesmo piso com a maravalha (Tabela 5). O piso plástico não interferiu no comportamento das aves nos períodos 9, 16 e 22 dias, não apresentando diferença significativa entre os tratamentos. Com 29 dias, as aves criadas sobre o PP permaneceram mais tempo em pé do que as do MA e PP+MA ($P=0,0496$) (Tabela 6). Aos 40 dias, as aves criadas sobre o PP e PPA apresentaram maior frequência do comportamento sentada do que as aves dos tratamentos com maravalha (MA, PP + MA e PPA + MA) ($P<0,0001$) (Tabela 7).

Tabela 5. Comportamento de pintainhos de corte aos 3 dias de idade (% do total de observações), criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Comportamentos	Materiais de Cama					EPM	Valor de P
	MA	PP	PP + MA	PPA	PPA + MA		
Em pé	4,63	10,80	8,33	10,97	3,70	0,236	0,1734
Andando	3,40	2,47	2,47	4,15	2,78	0,203	0,8073
Sentado	75,62	70,68	66,67	61,34	72,53	0,086	0,2064
Comendo	6,48	7,10	10,49	7,74	8,95	0,281	0,8476
Bebendo	2,78	2,16	4,01	3,87	5,86	0,189	0,2649
Bicando cama	2,78	3,40	3,40	3,59	3,09	0,260	0,8899
Explorando penas	1,85ab	2,16ab	2,77ab	5,13a	1,23b	0,129	0,0286
Movimentos de conforto	2,47	1,23	0,93	2,86	1,23	0,346	0,2693
Ciscando	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	1,0000
Banho de “cama”	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,001	1,0000
Bicagem agressiva	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	1,0000
Bicagem não agressiva	0,00	0,00	0,93	0,34	0,62	0,001	1,0000

*A soma dos comportamentos totaliza 100% das observações compiladas. Doze por tratamento, cada ave foi observada 3 vezes, em intervalos de 30 min, 3 períodos. A porcentagem expressa o número de vezes que o animal apresentou cada comportamento em relação ao número total de observações.

**EPM: Erro padrão da média.

***Os valores médios na mesma linha seguidos por diferentes letras minúsculas diferem significativamente ($P < 0,05$).

Tabela 6. Frequência comportamental de frangos de corte aos 29 dias de idade (% do total de observações), criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Comportamentos	Materiais de Cama					EPM	Valor de P
	MA	PP	PP + MA	PPA	PPA + MA		
Em pé	0,90b	3,18a	1,01b	1,54ab	1,68ab	0,273	0,0496
Andando	1,50	0,72	0,67	1,46	0,34	0,001	1,0000
Sentado	71,34	77,62	76,16	81,56	77,78	0,206	0,7498
Comendo	8,22	6,84	7,58	6,73	7,27	0,227	0,9345
Bebendo	6,87	4,73	3,77	3,05	3,47	0,201	0,1701
Bicando cama	4,47	4,42	2,42	1,09	2,76	0,411	0,7617
Explorando penas	6,02	2,47	4,82	3,37	5,35	0,541	0,7072
Movimentos de conforto	0,34	0,00	2,12	1,19	0,34	0,305	0,8514
Ciscando	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-

Banho de “cama”	0,34	0,00	1,45	0,00	1,01	0,459	0,8071
Bicagem agressiva	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
Bicagem não agressiva	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-

*A soma dos comportamentos totaliza 100% das observações compiladas. Doze por tratamento, cada ave foi observada 3 vezes, em intervalos de 30 min, 3 períodos. A porcentagem expressa o número de vezes que o animal apresentou cada comportamento em relação ao número total de observações.

**EPM: Erro padrão da média.

***Os valores médios na mesma linha seguidos por diferentes letras minúsculas diferem significativamente ($P < 0,05$).

Tabela 7. Frequência comportamental de frangos de corte aos 40 dias de idade (% do total de observações), criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

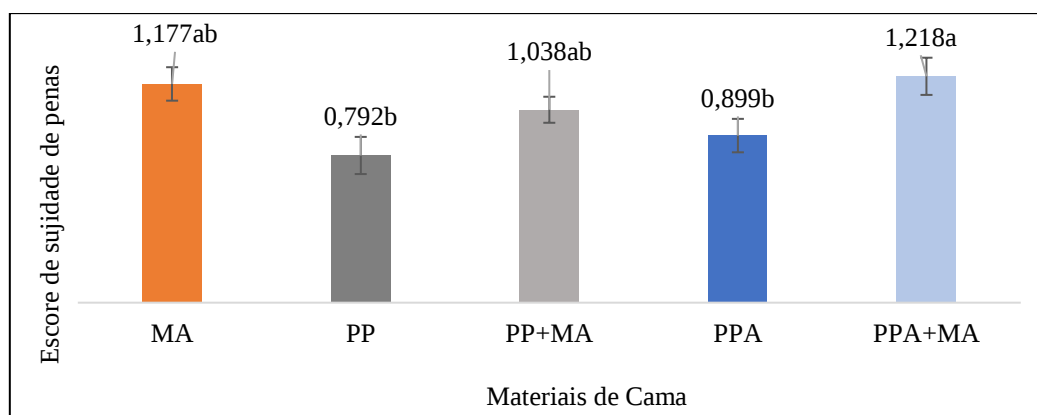
Comportamentos	Materiais de Cama					EPM	Valor de P
	MA	PP	PP + MA	PPA	PPA + MA		
Em pé	2,47	3,53	1,48	0,62	1,83	0,702	0,8968
Andando	1,44	0,00	0,74	0,62	0,74	0,169	0,4484
Sentado	84,05b	87,83a	84,07b	89,81a	82,85b	0,177	<0,0001
Comendo	4,94	2,29	3,70	3,09	4,47	0,273	0,3168
Bebendo	3,60	0,00	2,96	1,85	3,95	0,344	0,0569
Bicando cama	0,72	2,82	1,85	1,85	3,17	0,3116	0,0501
Explorando penas	1,54	3,53	4,82	1,54	2,99	0,357	0,5633
Movimentos de conforto	1,24	0,00	0,37	0,62	0,00	0,589	0,6192
Ciscando	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
Banho de “cama”	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
Bicagem agressiva	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
Bicagem não agressiva	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-

*A soma dos comportamentos totaliza 100% das observações compiladas. Doze por tratamento, cada ave foi observada 3 vezes, em intervalos de 30 min, 3 períodos. A porcentagem expressa o número de vezes que o animal apresentou cada comportamento em relação ao número total de observações.

**EPM: Erro padrão da média.

***Os valores médios na mesma linha seguidos por diferentes letras minúsculas diferem significativamente ($P < 0,05$).

As aves criadas sobre a MA e PP + MA apresentaram os maiores escores de sujidade de penas em relação as criadas sobre o PP e PPA ($P = 0,0258$) (Figura 6).



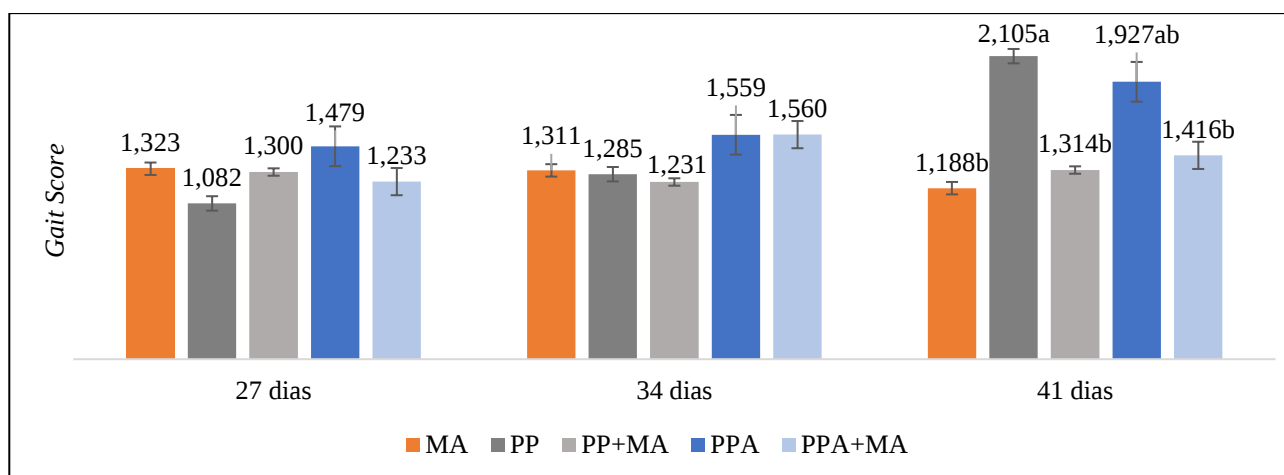
Efeito do tipo de piso no escore de sujidade das penas (média mínimos quadrados $\pm$ SE retransformada, valores mais altos indicam anormalidades mais altas). Letras diferentes(a,b) indicam diferenças estatisticamente significativas em $P < 0,05$.

Figura 6. Escore de sujidade de penas de frangos de corte aos 40 dias criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

As análises de problemas locomotores realizadas no mesmo animal em relação ao tempo (dias) apresentaram interação, sendo o efeito do tempo inerente as variáveis de escore. Portanto as equações foram representadas na figura e não descritas isoladamente. A representação dos resultados foi expressa comparando os materiais de cama por dia de avaliação.

Não houve alteração no caminhar das aves aos 20 dias avaliadas pela análise de *gait score*. Assim como não foi observado lesões de jarrete nas aves avaliadas nesse mesmo período.

O tipo de cama não influenciou no *gait score* das aves com 27 e 34 dias de idade. A avaliação de *gait score*, apresentou diferença entre os materiais com 41 dias, sendo que as aves criadas em cama com maravalha (MA, PP + MA e PPA + MA) apresentaram menor escore em comparação as criadas no piso plástico (PP e PPA) ($P < 0,001$) (Figura 7).



Efeito do tipo de piso sobre *gait score* (média mínimos quadrados $\pm$ SE retransformada, valores mais altos indicam anormalidades mais altas) nos diferentes dias avaliados. Letras diferentes(a,b) indicam diferenças estatisticamente significativas em $P < 0,05$.

Equações interação trat*tempo e erro padrão dos coeficientes de determinação:

MA: $y = -0,003x^2 + 0,278x - 4,506$ $P = 0,0046$ $a = 0,001$

PP: $y = 0,104x - 2,417$ $P < 0,0001$ $a = 0,011$

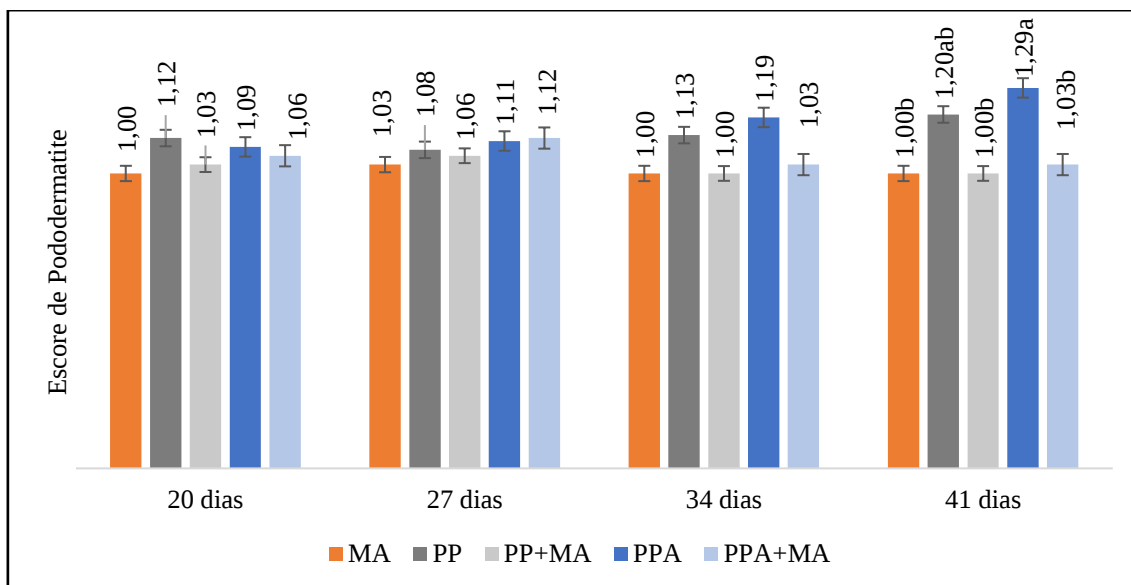
PP+MA: $y = 0,349x - 0,653$ $P > 0,0001$ $a = 0,010$

PPA: $y = 0,0676x - 1,284$ $P < 0,0001$ $a = 0,016$

PPA+MA: $y = 0,044x - 0,941$ $P < 0,0001$ $a = 0,010$

Figura 7. *Gait Score* de frangos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Em relação a pododermatite, houve interação dos tipos de cama e os períodos de avaliação ($P = 0,0053$). Avaliando-se cada um dos dias do teste, aos 41 dias as aves criadas sobre o PPA apresentaram maior escore de lesão de pododermatite em relação as aves criadas sobre cama que tinha maravalha em sua composição (MA, PP + MA e PPA + MA) (Figura 8).



Efeito do tipo de piso sobre pododermatite (média mínimos quadrados $\pm$ SE retransformada, valores mais altos indicam anormalidades mais altas) nos diferentes dias avaliados. Letras diferentes(a,b) indicam diferenças estatisticamente significativas em $P=0,0053$.

Equações interação trat*tempo e erro padrão dos coeficientes de determinação:

MA: Lin $P=1,000$ Quad $P=0,1025$

PP: $y=0,000522x^2-0,02851x+0,4768$ $P<0,0425$ $a=0,0003$ $b=0,0191$

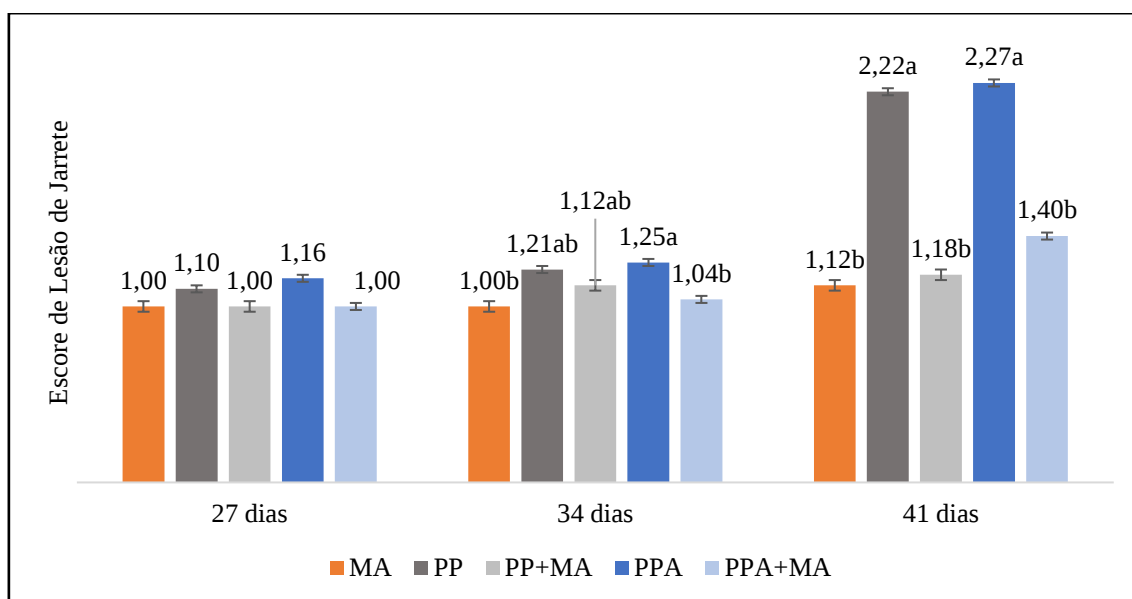
PP+MA: Lin $P=0,6457$ Quad $P=0,0919$

PPA: $y=-0,00762x-0,0788$ $P<0,04321$ $a=0,002$

PPA+MA: $y=0,00035x^2+0,01916x-0,1775$ $P<0,0193$ $a=0,0002$ $b=0,0170$

Figura 8. Escore de pododermatite de frangos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Para as lesões de jarrete, houve interação entre os dias de avaliação e os tipos de cama ($P<0,0001$). Avaliando-se em cada dia de coleta, aos 27 dias não houve efeito dos materiais nesse período de avaliação. Com 34 dias, as aves criadas sobre MA e PPA + MA apresentaram menores escores dos que as criadas sobre PPA. Com 41 dias, houve um aumento significativo das lesões das aves criadas sobre piso plástico (PP e PPA) em relação aos que continham maravalha na sua composição (MA, PP+MA e PPA+MA) (Figura 9).



Efeito do tipo de piso sobre lesões de jarrete (média mínimos quadrados $\pm$ SE retransformada, valores mais altos indicam anormalidades mais altas) nos diferentes dias avaliados. Letras diferentes(a,b) indicam diferenças estatisticamente significativas em $P < 0,0001$.

Equações interação trat*tempo e erro padrão dos coeficientes de determinação:

MA: $y = 0,009154x - 0,2695$ $P = 0,0006$ $a = 0,002$

PP: $y = 0,005288x^2 - 0,3095x + 4,6016$ $P < 0,0001$ $a = 0,001$ $b = 0,059$

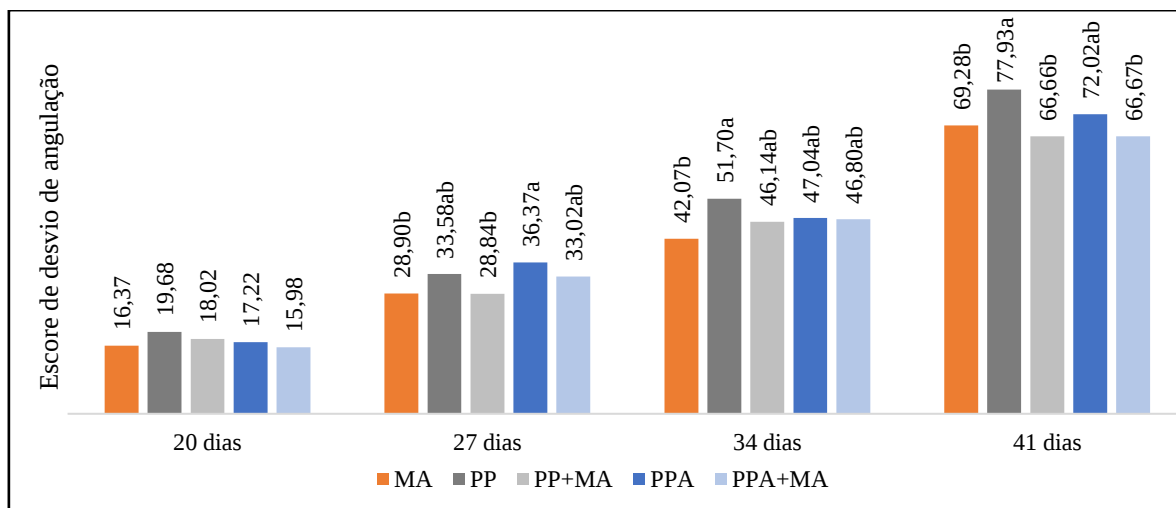
PP+MA: $y = 0,01148x - 0,2968$ $P < 0,0014$ $a = 0,003$

PPA: $y = 0,00536x^2 - 0,3134x + 4,7612$ $P < 0,0001$ $a = 0,001$ $b = 0,06$

PPA+MA: $y = 0,002542x^2 - 0,1486x + 2,1595$ $P = 0,0013$ $a = 0,001$ $b = 0,053$

Figura 9. Escore de lesão de jarrete de frangos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Os dados de desvio de angulação apresentaram interação entre os materiais de cama e dias de avaliação ($P < 0,001$). Aos 20 dias não houve diferença entre os materiais de cama (Figura 10). Com 27 dias, as aves criadas sobre MA e PP+MA apresentaram menores desvios do que as aves criadas sobre PPA. Houve influência do piso aos 34 dias, sendo as aves criadas sobre o PP apresentaram maiores desvios de angulação do que as criadas sobre MA. Aos 41 dias os desvios de angulação foram maiores nas aves criadas sobre PP em relação as aves criadas sobre as camas que tinham maravalha na sua composição (MA, PP+MA, PPA+MA).



Efeito do tipo de piso sobre o desvio angular (média mínimos quadrados $\pm$ SE retransformada, valores mais altos indicam anormalidades mais altas) nos diferentes dias avaliados. Letras diferentes(a,b) indicam diferenças estatisticamente significativas em $P \leq 0,0001$.

Equações interação trat*tempo e erro padrão dos coeficientes de determinação:

MA: $y = -2,4523x - 40,1200$ $P < 0,0001$ $a = 0,08$

PP: $y = 2,7269x - 41,8450$ $P < 0,0001$ $a = 0,07$

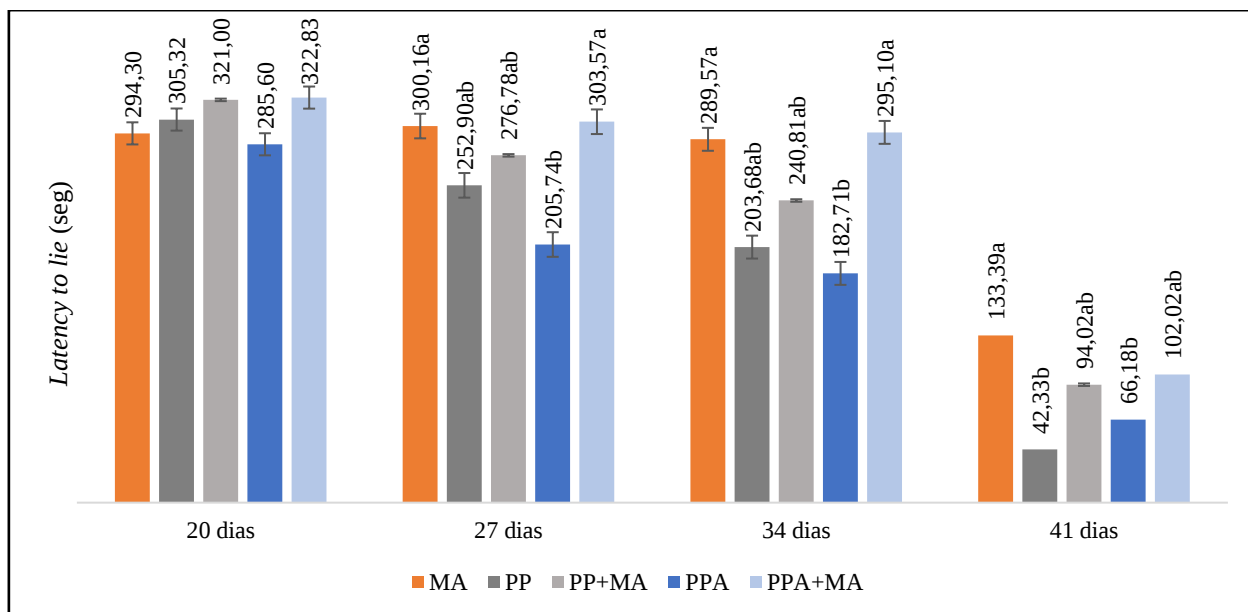
PP+MA: $y = 0,04902x^2 - 0,6597x - 6,9605$ $P < 0,0054$ $a = 0,08$

PPA: $y = 0,02337x^2 + 1,0591x - 16,7826$ $P = 0,0005$ $a = 0,07$

PPA+MA: $y = 2,3636x - 35,9691$ $P < 0,0001$ $a = 0,07$

Figura 10. Desvio angular em frangos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Houve interação dos materiais de cama e dias de avaliação para análise de *latency to lie* ($P = 0,0024$). Aos 20 dias, não houve efeito do tipo de cama para essa avaliação (Figura 11). Nos períodos 27 e 34 dias as aves criadas sobre MA e PPA+MA permaneceram por mais tempo em pé do que as criadas sobre o PPA. Com 41 dias o piso plástico (PP e PPA) interferiu negativamente na avaliação sendo que as aves criadas sobre esses materiais permaneceram por menos tempo em pé quando comparadas com as aves criadas sobre a MA.



Efeito do tipo de piso sobre *latency to lie* (média em segundos $\pm$ SE) nos diferentes dias avaliados. Letras diferentes(a,b) indicam diferenças estatisticamente significativas em $P < 0,05$.

Equações interação trat*tempo e erro padrão dos coeficientes de determinação:

PPA: $y = -9,330x + 471,09$ $P < 0,0001$ $a = 1,27$

PPA+MA: $y = -9,333x + 541,23$ $P < 0,0001$ $a = 0,911$

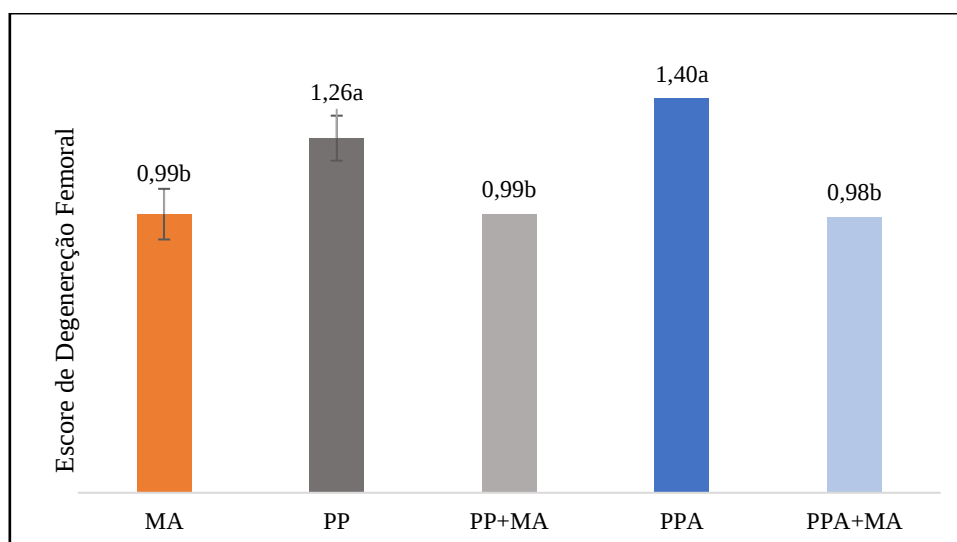
PP: $y = -11,477x + 551,79$ $P < 0,0001$ $a = 1,15$

PP+MA: $y = -9,716x + 528,10$ $P > 0,0001$ $a = 0,948$

MA: $y = -6,904x + 465,59$ $P > 0,0001$ $a = 0,951$

Figura 11. *Latency to lie* em frangos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

As aves criadas sobre piso plástico (PP e PPA) apresentaram maiores escores de degeneração femoral comparadas com as criadas sobre MA, PP+MA e PPA+MA. (Figura 12).



Efeito do tipo de piso sobre a degeneração femoral (média mínimos quadrados $\pm$ SE retransformada, valores mais altos indicam anormalidades mais altas). Letras diferentes(a,b) indicam diferenças estatisticamente significativas em $P < 0,0001$.

Figura 12. Degeneração femoral em frangos de corte de 42 dias criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Não houve diferença significativa entre os materiais de cama para os parâmetros de discondroplasia tibial, espondilolistese e fraturas e lesões dos pés dos frangos avaliados (Tabela 8). Na figura 13, podemos observar exemplos de lesões encontradas via imagens de radiografia dos pés das aves.

Tabela 8. Discondroplasia tibial, espondilolistese e fraturas e luxações dos pés de frangos de corte de 42 dias criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Variáveis	Tratamento					Valor de P
	MA	PP	PP+MA	PPA	PPA+MA	
Discondroplasia Tibial (direita)	0	0	0	0	0	1,0000
Discondroplasia Tibial (esquerda)	0	0	0	0	0	1,0000
Espondilolistese	0,846	0,523	0,766	0,833	0,866	0,0625
Fraturas e Luxações dos pés	0,952	0,974	0,983	0,941	0,983	0,7196

As variáveis estão representadas pelos mínimos quadrados $\pm$ SE retransformada, valores mais altos indicam anormalidades mais altas).

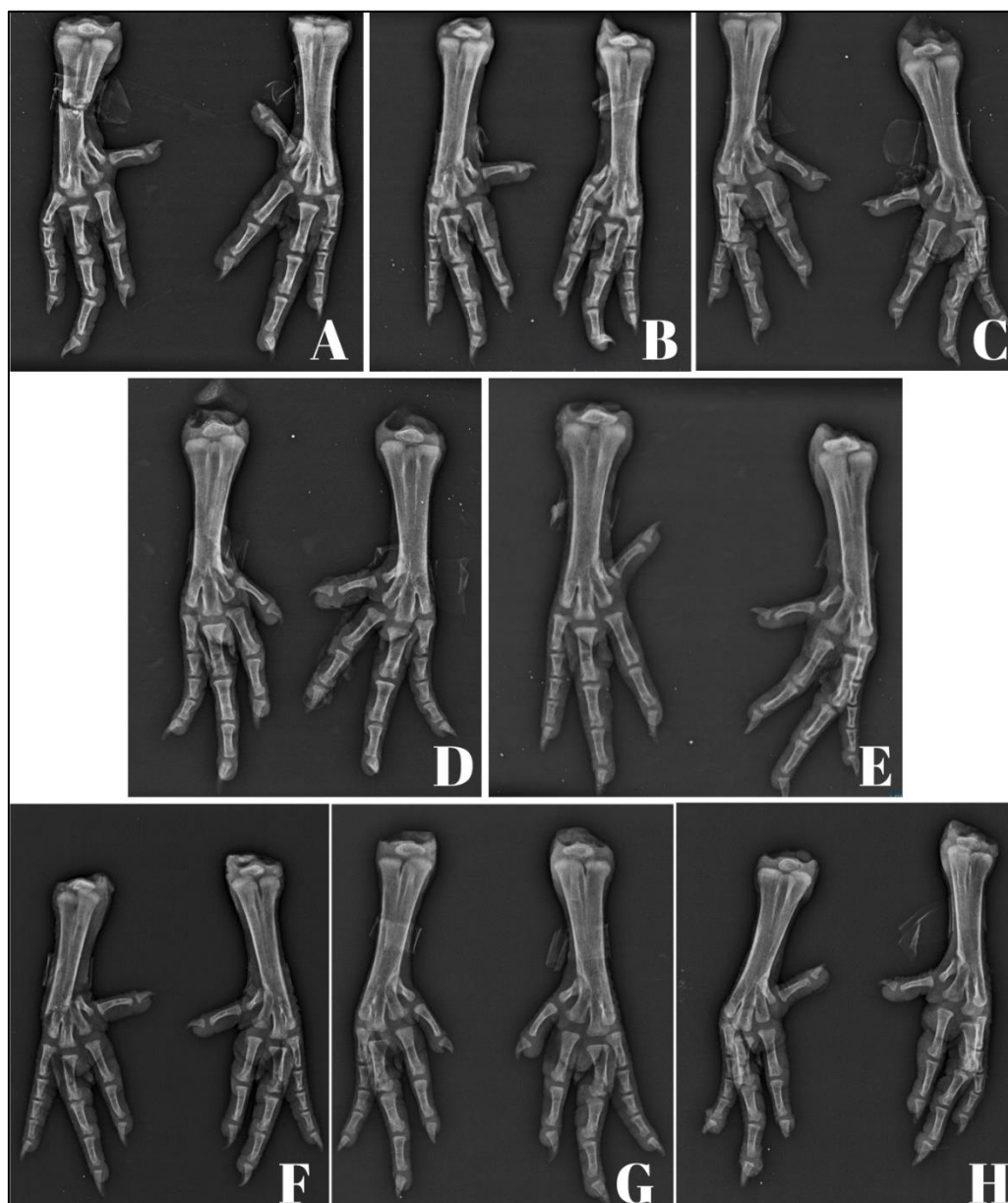


Figura 13. Diferentes fraturas apresentadas em pés de frangos de corte de 42 dias criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA). Nas figuras A, B e C são representadas fraturas que ocorreram no tratamento MA. Nas figuras D e E estão representadas fraturas que ocorreram no tratamento PP. Na figura F está representada a fratura que ocorreu no tratamento PP+MA. Na figura G está representada a fratura que ocorreu no tratamento PPA, e na figura H está representada a fratura que ocorreu no tratamento PPA+MA.

4. Discussão

Os resultados de temperatura, mostraram que as aves no período inicial não sofreram efeitos negativos com o uso de piso plástico. Embora os tratamentos com cama de maravalha (MA, PP+MA, PPA+MA) tenham influenciado em uma maior temperatura de pata dos pintainhos no período de 8 dias às 16h, nas demais variáveis e períodos avaliados não houve influência do material de cama nas temperaturas. Além disso, as temperaturas superficiais dos materiais nesse mesmo período avaliado não apresentaram diferença significativa. As temperaturas superficiais das patas estiveram semelhantes às encontradas por outros estudos com frango de corte, que obtiveram médias de 32,2 a 33,1°C (Garcia et al., 2019) e 35,9 a 36°C (Jacob et al., 2016).

Pode-se verificar nesse trabalho que as aves se mantiveram inativas na maior parte do período inicial, mantendo-se sentadas mais de 60% do tempo. A temperatura da cama pode ter influenciado nessa inatividade, já que as temperaturas mensuradas ficaram na maioria dos períodos avaliados abaixo do preconizado para a fase produtiva (24 a 30°C) (Aviagen, 2018). Essa inatividade seria uma tentativa das aves de manter sua temperatura corporal, reduzindo a troca de calor com o ambiente já que a temperatura da cama foi superior à do ambiente. Durante o período experimental, as aves enfrentaram temperaturas abaixo do ideal para fase de produção, o que justifica as temperaturas superficiais dos materiais de cama. Além disso, a temperatura corporal também se manteve abaixo nas primeiras horas do dia, sendo o ideal próximo a 39,4 a 40,5°C no período inicial.

Os frangos de corte possuem como comportamento inato o forragear e banho de areia e o tipo de material utilizado como cama seria determinante para frequência desses comportamentos naturais que são associados a condições favoráveis de bem-estar animal (Jacobs et al., 2021). A hipótese desse trabalho era de que as aves expressassem comportamentos exploratórios, de bicar cama, ciscar e banho de cama no tratamento que continham maravalha na sua composição, mas não houve diferença significativa. No período inicial, o substrato não foi relevante para expressar esses comportamentos. Explorar penas é caracterizado como um comportamento de manutenção, associado a um rearranjo das penas localizadas no peito e asas com o bico (Chung et al., 2012). Contudo, quando não há substratos naturais para bicar, a ave os substitui por penas, redirecionando seu comportamento de forragear para bicar as penas, já nos primeiros dias de vida (Johnsen e Vestergaard, 1996; Riedstra e Groothuis, 2004), o que poderia

explicar as aves do tratamento PPA terem apresentado maior frequência de exploração de suas penas na fase inicial.

Após o nascimento os animais não expressam todo seu repertório comportamental e seu comportamento pode estar ligado a determinada fase da vida, bem como suas formas de desenvolvimento (Costa et al., 2017). Isso justifica o número limitado de comportamentos dos pintainhos durante esse experimento, apresentando comportamentos de manutenção, como comer e beber, e inatividade, não explorando o ambiente ou interagindo entre o grupo. Durante as duas primeiras semanas de idade, outros pesquisadores não encontraram diferenças comportamentais significativas nas aves criadas em pisos parcialmente perfurados, ratificando os achados nesse trabalho (Adler et al., 2020; Jacobs et al., 2021).

O comportamento das aves corrobora com os achados nas análises de problema locomotor, sendo que aos 40 dias as aves criadas sobre o piso plástico (PP e PPA) permaneceram mais tempo sentadas do que as aves criadas sobre a maravalha (MA, PP+MA, PPA+MA). Nesse período, o piso plástico apresentou resultados negativos em relação as variáveis de locomoção das aves, justificando a ausência de atividade.

Era esperado que as aves criadas sobre o piso totalmente plástico se mantivessem mais limpas ao final do período experimental por não terem contato com as excretas e a alta umidade que normalmente se acumulam em um material de cama vegetal. Igualmente aos resultados dessa pesquisa, Li et al. (2017) observaram que o piso plástico melhora a limpeza das penas.

Até os 27 dias, os tipos de cama não influenciaram os parâmetros de locomoção. Entretanto, houve um aumento da incidência dos problemas locomotores com o passar dos dias em todas as avaliações realizadas nessa pesquisa. Este fato se dá ao aumento do peso corporal em curto espaço de tempo, contribuindo para o aparecimento e agravamento das lesões. Além disso, em virtude do comprometimento do centro de gravidade do frango pelo aumento de peso do músculo peitoral, há uma tendência do animal em diminuir sua locomoção ou forçar para se deslocar e manter seu equilíbrio, afetando o aparelho locomotor, limitando sua movimentação (Almeida Paz et al., 2010; Alves et al., 2016). Esse tipo de material alternativo de cama mostra ser útil na categoria frango *griller*, visto que são animais abatidos mais novos e leves não ocorrendo impactos no aparelho locomotor.

O piso plástico é um material liso, de menor estabilidade, proporcionando a ave um esforço maior para se equilibrar. Foi evidenciando no decorrer do experimento aves

com maior abertura das pernas (*valgus*) nos tratamentos que apresentavam 100% piso plástico. Ratificando essa observação, neste trabalho as aves criadas em cama que tinha somente piso plástico, sem a presença de maravalha, apresentaram maiores lesões de pododermatite, jarrete, *gait score*, desvio de angulação e degeneração femoral aos 41 dias.

A avaliação de *gait score* é utilizada para quantificar a capacidade de locomoção dos frangos de corte, e os distúrbios averiguados na marcha podem estar relacionados a ausência de conforto, diminuição da atividade e comportamentos motivados, afetando assim o bem-estar das aves (Zhou et al., 2024). Outros autores também encontraram diferença entre o piso plástico e a maravalha, apresentando escores mais elevados nas aves criadas sobre o piso plástico, justificando esses resultados em virtude da limitação do piso em relação a absorção do peso e impacto da ave, bem como a baixa aderência ao caminhar (Almeida et al., 2017).

A pododermatite e lesões de jarrete são dermatites de contato que estão intimamente relacionadas a qualidade da cama. Quando a cama não fornece uma condição adequada de criação podem ocorrer níveis de amônia, pH e umidade há uma piora nas lesões da almofada plantar (Kaukonen et al., 2016). Juntamente com esses fatores, esses autores incluíram o aumento da área de piso, sendo que quanto maior a área, maior a incidência de dermatites. Comparando pisos parcialmente perfurados abaixo da linha de bebedouros e cama de maravalha obteve-se resultado oposto, sendo que as aves criadas sobre maravalha tiveram aumento da pontuação de pododermatite em comparação as criadas sobre piso parcialmente perfurado, correlacionando esse resultado a alta umidade da cama de maravalha e boa adaptação a pressão do piso plástico (Adler et al., 2020; Sonnabend et al., 2022). As aves permaneceram mais tempo sentadas, tendo mais contato com o piso e possivelmente interferindo negativamente nas lesões de pododermatite e jarrete. Além disso, a não estabilidade das aves sobre o piso fez com que as aves desenvolvessem mecanismos para se levantar e locomover, gerando mais atrito entre o piso e os jarretes e patas.

O piso com antimicrobiano nanotecnológico não surtiu o efeito esperado, principalmente nos resultados de dermatite, quando o piso com antimicrobiano deveria diminuir a contaminação microbiológica e consequentemente as lesões. Quando observado a etiologia dos agentes patológicos da pododermatite, tem-se como principal e mais frequente nas cepas isoladas o *Staphylococcus aureus*, seguido de *Enterococcus faecalis* e *Escherichia coli*, que aproveitam de lesões das células derme e epiderme para

se instalem e causarem infecções (Olsen et al., 2018). As duas principais bactérias são do grupo gram positivo, grupo ao qual as nanopartículas de zinco apresentam melhor atividade antimicrobiana quando comparadas a *E. coli* (Yusof, et al., 2019).

Foi evidenciado que frangos de corte com degeneração femoral apresentam dificuldades de locomoção, comprometendo sua condição de equilíbrio, angulação e *gait score* (Alves et al., 2016). Outro estudo analisando a biomecânica dos ossos de frango de corte criados sobre três tipos de cama (maravalha, piso plástico e zeólita) concluíram que as aves criadas sobre piso plástico tinham maior incidência de discondroplasia tibial, com menores diâmetros de fêmur e tíbia, menor comprimento de fêmur e índice de robusticidade inferior aos demais materiais (Khan et al., 2023).

A avaliação de *latency to lie* foi desenvolvida para quantificar a dor e desconforto das aves, desassociando os a dificuldade de se locomover das causas biomecânicas e possíveis adaptações que as aves utilizam para caminhar (Caplen et al., 2014). As aves diminuíram mais de 60% seu tempo em pé aos 41 dias em todos os tipos de cama avaliados. Entretanto cabe ressaltar que as aves dos pisos plásticos (PP e PPA) foram tendenciando a permanecer menos tempo em pé comparando com as aves criadas em presença de maravalha desde os 27 dias, ratificando esse comportamento aos 41 dias, quando apresentaram diferenças significativas no período final. Tal resultado corrobora com as demais análises de locomoção e comportamento, mostrando que o piso plástico utilizado contribuiu para o aparecimento de lesões no aparelho locomotor de frangos de corte, limitando sua mobilidade.

5. Conclusões

Apesar do piso plástico apresentar pouca condutividade térmica, os resultados desse trabalho mostraram que o piso plástico se assemelha a maravalha na temperatura corporal das aves em um período crítico de aquecimento como o da fase inicial de criação.

Os pisos plásticos utilizados nesse estudo podem ser indicados para frangos de corte sem afetar o bem-estar desde que seja utilizado em conjunto com a maravalha. Outra alternativa de uso seria até próximo aos 27 dias de vida, como frangos de tipo *griller*, que são mais leves e abatidos mais jovens.

Para frangos aos 42 dias há interferência negativa do piso plástico na maioria dos problemas locomotores avaliados, não suportando o aumento de peso das aves

resultado em dificuldades ao caminhar, lesões de pododermatite e jarrete, deformidade angular e degeneração femoral, afetando assim o bem-estar do frango de corte.

Da mesma forma, o antimicrobiano nanotecnológico a base de zinco não surtiu efeito nessa pesquisa, sendo recomendado pesquisas em utilização a longo prazo, comparando a reutilização do piso e da maravalha.

Referências

Adler, C.; Tiemann, I.; Hillemacher, S.; Schmithausen; A. J., Müller; U., Heitmann, S.; Spindler, B.; Kemper, N. and Büscher, W. 2020. Effects of a partially perforated flooring system on animal-based welfare indicators in broiler housing. *Poultry Science* 99:3343-3354. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.04.008>

Almeida, E. A.; de Souza, L. F. A.; Sant'Anna, A. C.; Bahiense, R. N.; Macari, M. and Furlan, R. L. 2017. Poultry rearing on perforated plastic floors and the effect on air quality, growth performance, and carcass injuries—Experiment 1: Thermal comfort. *Poultry Science* 96:3155-3162. <https://doi.org/10.3382/ps/pex131>

Almeida Paz, I. C. L.; Mendes, A. A.; Takita, T. S.; Vulcano, L. C.; Guerra, P. C.; Wechsler, F. S.; Garcia, R.G.; Takahashi, S.E.; Moreira, J.; Pelícia, K.; Komiyama, C.M. and Quinteiro, R. R. 2005. Comparison of techniques for tibial dyschondroplasia assessment in broiler chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science* 7:27-31. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2005000100005>

Almeida Paz, I.C.L.; Mendes, A. A.; Balog, A.; Vulcano, L. C.; Ballarin, A. W.; Almeida, I. C. L. Takahashi, S.E.; Komiyama, C.M.; Silva, M.C. and Cardoso, K. F. G. 2008. Study on the bone mineral density of broiler suffering femoral joint degenerative lesions. *Brazilian Journal of Poultry Science* 10:103-108. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2008000200005>

Almeida Paz, I. C. L.; Garcia, R.; Bernardi, R.; Nääs, I.; Caldara, F. R.; Freitas, L. W.; Seno, L.O.; Ferreira, V.M.O.S.; Pereira, D.F.; Cavichiolo, F. 2010. Selecting appropriate bedding to reduce locomotion problems in broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science* 12:189-195. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2010000300008>

- Almeida Paz, I. C. L., Almeida, I. C. L., La Vega, L. T., Milbradt, E. L., Borges, M. R., Chaves, G. H. C., Ouros, C. C., Silva, M. I. L., Caldara, F. R. and Andreati Filho, R. L. 2019. Productivity and well-being of broiler chickens supplemented with probiotic. *Journal of Applied Poultry Research* 28:930-942. <https://doi.org/10.3382/japr/pfz054>
- Alves, M. C. F.; Almeida Paz, I. C. L.; Nääs, I. A.; Garcia, R. G.; Caldara, F. R.; Baldo, G. A. A.; Nascimento, G. R.; Amadori, M. S.; Felix, G. A.; Garcia, E. A.; Molino, A. R. 2016. Equilibrium condition during locomotion and gait in broiler chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science* 18:419-426. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2015-0013>
- Al-Tayyar, N. A.; Youssef, A. M. and Al-Hindi, R. 2020. Antimicrobial food packaging based on sustainable Bio-based materials for reducing foodborne Pathogens: A review. *Food chemistry*, 310:125915. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125915>
- Aviagen 2018. 2018. Ross broiler management handbook.
- Barbosa, D. K.; Garcia, R. G.; Burbarelli, M. F. C.; Komiyama, C. M.; Gandra, E. R. S.; Przybulinski, B. B.; Castilho, V. A. R.; Bueno, J. P. T. and Santos, W. 2022. Different litter compositions influence broiler chicken locomotion. *Iranian Journal of Veterinary Research* 23:137-146.
- Boussaada, T.; Lakhdari, K.; Benatallah, S. A. and Meradi, S. 2022. Effects of common litter types and their physicochemical properties on the welfare of broilers. *Veterinary World* 15:1523-1529 <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.1523-1529>
- Caplen, G.; Hothersall, B.; Nicol, C. J.; Parker, R. M. A.; Waterman-Pearson, A. E.; Weeks, C. A. and Murrell, J. C. 2014. Lameness is consistently better at predicting broiler chicken performance in mobility tests than other broiler characteristics. *Animal Welfare* 23(2):179-187. <https://doi.org/10.7120/09627286.23.2.179>
- Chung, K. M.; Smith, M. O. and Kattesh, H. G. 2012. The influence of double interspiking on production and behavior in broiler breeder flocks in elevated temperature conditions. *Journal of Applied Poultry Research* 21:63-69. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00347>

Chuppava, B.; Visscher, C. and Kamphues, J. 2018. Effect of different flooring designs on the performance and foot pad health in broilers and turkeys. *Animals* 8:70. <https://doi.org/10.3390/ani8050070>

Costa, M. J. P.; Lima, V. A. e Sant'Anna, A. C. 2017. Comportamento e Bem-estar animal. *Fisiologia das aves comerciais*. Macari, M. e Maiorka, A., eds. Funep/Fapesp/Facta, Jaboticabal.

Çavdarci, H.; Sarica, M.; Erensoy, K. and Aslan, R. 2022. The Effects of Partially Slatted Floor Designs on Some Early Behavioral Traits in Broiler Chicks. *Black Sea Journal of Agriculture* 41-42. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1121919>

Çavuşoğlu, E. and Petek, M. 2019. Effects of different floor materials on the welfare and behaviour of slow-and fast-growing broilers. *Archives Animal Breeding* 62:335-344. <https://doi.org/10.5194/aab-62-335-2019>

Dawson, L. C.; Widowski, T. M.; Liu, Z.; Edwards, A. M. and Torrey, S. 2021. In pursuit of a better broiler: A comparison of the inactivity, behavior, and enrichment use of fast-and slower growing broiler chickens. *Poultry Science* 100:101451. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101451>

Farghly, M. F.; Mahrose, K. M.; Cooper, R. G.; Ullah, Z.; Rehman, Z. and Ding, C. 2018. Sustainable floor type for managing turkey production in a hot climate. *Poultry Science* 97:3884-3890. <https://doi.org/10.3382/ps/pey280>

Fidan, E. D.; Kaya, M.; Nazligul, A. and Türkyilmaz, M. K. 2020. The effects of perch cooling on behavior, welfare criteria, performance, and litter quality of broilers reared at high temperatures with different litter thicknesses. *Brazilian Journal of Poultry Science* 22. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1083>

Garcês, A. P. J. T.; Afonso, S. M. S.; Chilundo, A. and Jairoce, C. T. S. 2013. Evaluation of different litter materials for broiler production in a hot and humid environment: 1. Litter characteristics and quality. *Journal of Applied Poultry Research* 22:168-176. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00547>

Garcia, R. G.; Roriz, B. C.; Nääs, I. A.; Lima, N. D. S.; Sgavioli, S. and Caldara, F. R. 2019. Multi-Attribute Evaluation and Selection of Broiler House for the Low

Prevalence of Footpad Lesion. Brazilian Journal of Poultry Science 21:001-008.
<https://doi.org/10.1590/1806-9061-2017-0643>

Jacob, F. G.; Baracho, M. D. S.; Nääs, I. D. A.; Souza, R. and Salgado, D. D. A. 2016. The use of infrared thermography in the identification of pododermatitis in broilers. Engenharia Agrícola 36:253-259. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p253-259/2016>

Jacobs, L.; Melick, S.; Freeman, N.; Garmyn, A. and Tuytens, F. A. 2021. Broiler chicken behavior and activity are affected by novel flooring treatments. Animals 11:2841. <https://doi.org/10.3390/ani11102841>

Johnsen, P. F. and Vestergaard, K. S. 1996. Dustbathing and pecking behaviour in chicks from a high and a low feather pecking line of laying hens. Applied Animal Behaviour Science 49:237-246. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(96\)01049-0](https://doi.org/10.1016/0168-1591(96)01049-0)

Kaukonen, E.; Norring, M. and Valros, A. 2016. Effect of litter quality on foot pad dermatitis, hock burns and breast blisters in broiler breeders during the production period. Avian Pathology 45(6):667-673.
<https://doi.org/10.1080/03079457.2016.1197377>

Khan, K.; Kaya, M.; Fidan, E. D. and Kilimci, F. S. 2023. Impact of litter on femur and tibial morphology, bone biomechanics, and leg health parameters in broiler chickens. Animal Bioscience 36(9):1393. <https://doi.org/10.5713/ab.22.0335>

Koppen, W.P. 1948. Climatologia, com un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 478p.

Li, J., Miao, Z., Tian, W., Yang, Y., Wang, J. and Yang, Y. 2017. Effects of different rearing systems on growth, small intestinal morphology and selected indices of fermentation status in broilers. Animal Science Journal 88:900-908. <https://doi.org/10.1111/asj.12697>

Lucena, A. C.; Pandorfi, H.; Almeida, G. L.; Guiselini, C.; Araújo, J. E. and Rodrigues, T. P. D. S. 2020. Behavior of broilers subjected to different light spectra and illuminances. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 24:415-421. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p415-421>

Nascimento, G. R. D.; Nääs, I. A.; Baracho, M. S.; Pereira, D. F. and Neves, D. P. 2014. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18:658-663. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000600014>

Nelder, J. A. and Wedderburn, R. W. 1972. Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)* 135:370-384. <https://doi.org/10.2307/2344614>

Olsen, R. H.; Christensen, H.; Kabell, S. and Bisgaard, M. 2018. Characterization of prevalent bacterial pathogens associated with pododermatitis in table egg layers. *Avian Pathology* 47(3):281-285. <https://doi.org/10.1080/03079457.2018.1440066>

Paixão, T. A.; Ribeiro, B. R. C.; Hoerr, F. J. e Santos, R. L. 2007. Espondilolistese em frango de corte no Brasil. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 59:523-526. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352007000200039>

Pepper, C. M. and Dunlop, M. W. 2021. Review of litter turning during a grow-out as a litter management practice to achieve dry and friable litter in poultry production. *Poultry Science* 100:101071. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101071>

Riedstra, B. and Groothuis, T. G. G. 2004. Prenatal light exposure affects early feather-pecking behaviour in the domestic chick. *Animal Behaviour* 67:1037-1042. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2003.10.009>

Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T.; Hannas, M.I.; Donzele, J.L.; Sakomura, N.K.; Perazzo, F.G.; Saraiva, A.; Teixeira, M.L.; Rodrigues, P.B.; Oliveira, R.F.; Barreto, S.L.T. e Brito, C.O. 2017. *Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais* (488 p.). Departamento de Zootecnia-UFV, Viçosa, MG, BR.

Santana, J. C.; Almeida, P. F.; Costa, N.; Vasconcelos, I.; Guerhardt, F.; Boukouvalas, D. T.; Alves, W. A. L.; Mendoza, P. C.; Gamarra, F. M. C.; Lianos, S. A. V.; Araujo, S. A.; Quispe, A. P. B.; Vanalle, R. M. and Berssaneti, F. T. 2021. Combination of Computational Techniques to Obtain High-Quality Gelatin-Base Gels from Chicken Feet. *Polymers* 13:1289. <https://doi.org/10.3390/polym13081289>

Shepherd, E. M. and Fairchild, B. D. 2010. Footpad dermatitis in poultry. *Poultry Science* 89(10):2043-2051. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00770>

Shields, S. and Greger, M. 2013. Animal welfare and food safety aspects of confining broiler chickens to cages. *Animals* 3:386-400. <https://doi.org/10.3390/ani3020386>

Sonnabend, S.J.; Spieb, F.; Reckels, B.; Ahmed, M.F.; El-Wahab, A.A.; Sürrie, C.; Lingens, J.C. and Visscher, C. 2022. Influence of Using Perforated Plastic Flooring Beneath the Waterline on Growth Performance, Litter Quality, and Footpad Health of Broiler Chickens: A Field Study. *Animals* 12:1749. <https://doi.org/10.3390/ani12141749>

Teixeira, V. Q.; Santos, F. F.; Aquino, M. H. C.; Tortelly, R.; Nascimento, E. R. and Pereira, V. L. A. 2019. Pododermatitis macroscopic and microscopic characterization related to industrial classification of chicken feet for human consumption. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 71:797-804. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10615>

United States Department of Agriculture (USDA). 2023. *Livestock and Poultry: World Markets and Trade*: Washington, DC, USA.

United States Department of Agriculture (USDA). 2024. *Livestock and Poultry: World Markets and Trade*: Washington, DC, USA.

Webster, A. B.; Fairchild, B. D.; Cummings, T. S. and Stayer, P. A. 2008. Validation of a three-point gait-scoring system for field assessment of walking ability of commercial broilers. *Journal of Applied Poultry Research* 17:529-539. <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00013>

Weeks, C. A.; Danbury, T. D.; Davies, H. C.; Hunt, P. and Kestin, S. C. 2000. The behaviour of broiler chickens and its modification by lameness. *Applied Animal Behaviour Science* 67:111-125. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00102-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00102-1)

Welfare Quality. 2009. *The Welfare Quality® assessment protocol for poultry (broilers, laying hens)*. The Welfare Quality® Consortium, Lelystad, The Netherlands.

Yan, F.; Keen, C. A.; Zhang, K. Y. and Waldroup, P. W. 2005. Comparison of methods to evaluate bone mineralization. *Journal of Applied Poultry Research* 14:492-498. <https://doi.org/10.1093/japr/14.3.492>

Yusof, N. A. A.; Zain, N. M. and Pauzi, N. 2019. Synthesis of ZnO nanoparticles with chitosan as stabilizing agent and their antibacterial properties against Gram-positive and Gram-negative bacteria. *International journal of biological macromolecules* 124:1132-1136. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.228>

Zhou, S.; Watcharaanantapong, P.; Yang, X.; Thornton, T.; Gan, H.; Tabler, T.; Prado, M. and Zhao, Y. 2024. Evaluating broiler welfare and behavior as affected by growth rate and stocking density. *Poultry Science* 103459. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103459>

CAPÍTULO 3

PISO PLÁSTICO NANOTECNOLÓGICO PARA FRANGOS DE CORTE INTERFERE NO DESEMPENHO, SAÚDE E QUALIDADE DO PRODUTO

Projeto aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA)/UFGD

Nº de protocolo: 01/2021.

Redigido de acordo com as normas adaptadas da Revista Brasileira de Zootecnia.

Qualis A2 (2020), fator de impacto – JCR 1,000 (2022).

Piso plástico nanotecnológico para frangos de corte interfere no desempenho, saúde e qualidade do produto

RESUMO: O objetivo com esse trabalho foi avaliar os efeitos da utilização de dois tipos de piso plástico (com e sem antimicrobiano nanotecnológico) em substituição total ou parcial da maravalha sobre o desempenho, rendimento, qualidade de carne e microbiologia da cama de frangos de corte criados até os 42 dias de idade. Foram utilizados 1500 pintainhos de corte de um dia de idade, machos, da linhagem Ross 408®, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em 5 tratamentos: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA), com seis repetições, totalizando 30 boxes, com 50 aves cada. Foram utilizadas 6 aves por tratamento em três períodos: 14, 28 e 40 dias de idade das aves para avaliar a biometria do fígado, coração, baço e moela. Para avaliação macroscópica de lesões de *Eimeria* foram abatidas 30 aves com 7, 14, 28 e 42 dias de idade, para mensurar o grau de lesão do duodeno, jejuno e íleo. Para as pesquisas microbiológicas de cama foi realizada coleta de *swab* nos dias 0, 1, 15, 29 e 43. Os índices de desempenho foram avaliados semanalmente (1 a 7 dias, 1 a 21 dias e 1 a 42 dias). Após o abate e evisceração foram estimados peso de carcaça quente (PCQ), peso de carcaça resfriada (PCR) e rendimento da carcaça quente (RCQ), carcaça resfriada (RCR) e cortes, lesões de dermatite de contato, arranhões dorsais, calo de peito e hematomas, miopatias *wooden breast* e *white striping*, e qualidade de carne. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Aos 14 dias as aves criadas sobre a MA tiveram o menor peso de moela, e com 40 dias o maior peso foi nas aves criadas sobre MA. Houve diferença dos materiais de cama na presença de *Salmonella*, sendo que o PP apresentou 33,33% de presença, e o PPA e PPA+MA apresentaram 16,67%, com ausência nos demais tratamentos. O piso de plástico não interferiu no consumo de ração. Aos 21 dias, as aves criadas sobre PP apresentaram pior conversão do que as criadas sobre PPA + MA. Aos 42 dias, a conversão alimentar e viabilidade foram piores nos tratamentos que tinham somente piso plástico. Aos 42 dias as aves criadas sobre piso plástico (PP e PPA) apresentaram menores pesos de PV, PCQ, PCR. Para o rendimento de carcaça quente, as aves criadas sobre a MA apresentaram maior rendimento. Nas lesões de *wooden breast*, as aves criadas sobre PPA apresentaram menor incidência. Os menores valores das dimensões dos filés de peito foram os das aves criadas em piso plástico (PP e PPA). Os filés das aves criadas sobre MA e PPA + MA apresentaram maior pH e menor teor de vermelho. No teor de amarelo, os filés das aves dos tratamentos MA e PPA + MA apresentaram menor teor. O material plástico como cama de frangos apresentou desafios relacionados a *Eimeria*, com maior acometimento das aves apresentando lesões intestinais característica de coccidiose. O piso plástico influenciou negativamente o desempenho, peso e rendimento de carcaça.

Palavras-chave: antimicrobiano, calo de peito, conversão alimentar, maravalha, rendimento, *Salmonella*

1. Introdução

Para alcançar índices de desempenho satisfatórios, a qualidade intestinal da ave deve ser preservada para melhor aproveitamento dos nutrientes advindos da dieta. O animal em crescimento apresenta alta demanda energética e nutricional e o trato digestório precisa acompanhar esse crescimento. Quando o frango está em situação de estresse por desafios sanitários, problemas de ambiência ou outros fatores que afetam seu bem-estar há um prejuízo na integridade estrutural e funcional do trato digestório (Macari e Maiorka, 2017). Mensurar o peso dos órgãos dos frangos de corte é uma forma de verificar se os diferentes tipos de cama propiciam desafios aos animais, a ponto de interferir no desenvolvimento fisiológico.

A cama de frango apresenta uma variação microbiológica na sua qualidade, contendo fungos, leveduras e outros microrganismos patógenos (Toledo et al., 2019). A coccidiose é uma doença causada pelo protozoário *Eimeria*, que acomete as aves afetando seu trato gastrointestinal. Aves acometidas por esse patógeno tem a integridade intestinal alterada, tornando-se mais suscetíveis a doenças secundárias que representam desafios a saúde desses animais (Madlala et al., 2021). O ambiente em que as aves são criadas pode favorecer a contaminação por esse parasita, já que as infecções causadas por *Eimeria* ocorrem de forma facilitada entre hospedeiros por via oral-fecal direta, por meio da ingestão de oocistos esporulados de cama ou alimentos contaminados (Leung, 2018). As aves criadas sobre a cama convencional, estão mais propícias a um ambiente com condições higiênicas sanitárias inferiores (Wang et al., 2021), ou seja, o tipo de material de cama interfere na integridade sanitária.

Outro agente de alto impacto sanitário e financeiro para a avicultura é a *Salmonella*, uma bactéria que pode induzir a infecções sistêmicas, acarretando baixo desempenho ou morte dos animais, além de contaminação da carne, levando riscos ao consumidor (Kempf et al., 2020). Os animais contaminados excretam elevadas quantidades dessa bactéria na cama, culminando na necessidade de tratamento para eliminar esse patógeno e assim poder reutilizar essa cama no meio avícola ou agrícola, já que a incorporação da cama de frango no solo acaba sendo o destino final desse resíduo (Avidov et al., 2021). O tratamento da cama onera os custos de produção e necessita de um tempo mínimo das instalações vazias, sem o alojamento de animais, diminuindo assim a quantidade de lotes/ano. No Brasil, mesmo realizando tratamento na cama, há uma reincidência de *Salmonella* spp ao longo do tempo nas camas

reaproveitadas, indicando que os manejos e protocolos adotados não são eficazes (Voss-Rech et al., 2019).

A qualidade da carne do frango de corte é multifatorial e está relacionada com a genética, sexo, nutrição, sistemas de criação e manejo pré-abate, interferindo diretamente no produto que chega à mesa do consumidor (Özbek et al., 2020). Boas condições de criação incluindo o tipo de material de cama, suas características e composição podem proporcionar maior conforto melhorando assim as condições de bem-estar dos animais e consequentemente melhor qualidade de carne (Avcılar et al., 2019).

O uso de um material de cama vegetal é consolidado pela avicultura de corte mundial e há décadas se utiliza a maravalha ou casca de arroz como material principal para criação de frangos (Çavuşoğlu et al., 2018). A maioria dos materiais vegetais alternativos são sazonais e apresentam protocolos de reutilização mais onerosos. Outro ponto importante em questão é a alta demanda por esses produtos, já que o setor de produção de ovos está sofrendo mudanças no sistema de criação, passando de gaiolas para produção em piso, necessitando de substratos para servirem como cama para as poedeiras (He et al., 2022).

Além de influenciar diretamente os índices de desempenho, a cama pode interferir de forma indireta nesse parâmetro. As aves quando acometidas por lesões severas de patas, em decorrência da contaminação bacteriana, compactação e alta umidade da cama, tendem a diminuir o consumo em virtude da limitação de deslocamento ou por dor. Isso reflete no ganho de peso, rendimento de carcaça e cortes e condenações das carcaças (Hashimoto et al., 2013). Quando considerado que os frangos de corte passam a maior parte da sua vida sobre a cama e que essa pode ser fonte contaminante, buscar alternativas tecnológicas para minimizar a proliferação de microrganismos patógenos seria de grande valia para o setor.

A criação de frangos de corte em gaiolas ou em pisos não foi bem sucedida anteriormente devido a problemas locomotores e qualidade de carcaça (Akpobome e Fanguy, 1992; Shields e Grager, 2013). Entretanto a mudança na tecnologia de fabricação desses materiais e uma possível combinação do piso plástico parcial e maravalha traria uma abordagem diferente a esses fatores negativos. O piso plástico seria uma alternativa, já que é muito utilizado no setor de produção de matrizes pesadas e semipesadas, podendo ser lavável e reutilizado (Heerkens et al., 2015; Almeida et al., 2017). Além disso, pode-se agregar ao plástico o uso de nanotecnologia com

propriedades antimicrobianas, que possuem potencial para reduzir a contaminação de superfícies, com baixo custo, sendo eficientes contra uma vasta gama de bactérias como *Salmonella enteritidis*, *Streptococcus mutante*, *Lactobacillus* e *E. coli* (Bastarrachea et al., 2015; Singh et al., 2023). O uso de íons metálicos inorgânicos com ação antimicrobiana, como óxido de zinco, possui a vantagem de estabilidade e robustez e sua ação persiste por um prazo de vida útil longo (Raghupathi et al., 2011). Materiais plásticos com ação antimicrobiana é amplamente utilizado na indústria alimentícia e da saúde (Omerović et al., 2021; Choudhury et al., 2022). Entretanto não há pesquisas voltadas a esse assunto na área de produção animal.

Para validar o uso dessa tecnologia para frangos de corte, é necessário quantificar sua interferência em relação as lesões e dermatites de carcaça já que as características do piso plástico são totalmente diferentes da maravalha, gerando dúvidas da sua eficiência em relação ao contato do plástico com o peito e patas das aves. Diante desses fatos apresentados, o objetivo com esse trabalho foi avaliar os efeitos da utilização de dois tipos de piso plástico (com e sem antimicrobiano nanotecnológico) em substituição total ou parcial da maravalha sobre o desempenho, rendimento, qualidade de carne e microbiologia da cama de frangos de corte criados até os 42 dias de idade.

2. Material e métodos

Criação das aves e delineamento experimental

Todos os procedimentos adotados foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFGD (Protocolo nº 01/2021). O presente estudo foi realizado em um aviário experimental da cidade de Dourados, no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. A região possui latitude 22°13'18" S, longitude 54°48'23" W e altitude de 430 m e classificação climática de clima tropical úmido com inverno seco (Cwa) (Köppen 1948), sendo que o experimento foi realizado no inverno, com temperatura média de 15,5°C. O aviário possui boxes de 4 m² equipados com bebedouros pendulares, comedouros tubulares, cortinas e sobrecortinas, placa evaporativa e nebulizadores para controlar a temperatura interna. Para o aquecimento na fase inicial utilizou-se uma lâmpada infravermelhas de 250 W por box. Até o 3º dia, utilizou-se papel do tipo *kraft* na cama para favorecer o fornecimento de ração, sendo retirado após esse período. Adotou-se até o 7º dia, um comedouro infantil por box e até o 10º dia o uso de círculo de proteção com placas de fibra de madeira. O programa de

luz utilizado foi de 23h luz e 1h de escuro até os 7 dias, passando após esse período gradativamente para 6h de escuro, conforme o manual da linhagem Ross®, com lâmpadas de 40 W, obtendo-se 22 lúmens/m².

Foram utilizados 1500 pintainhos de corte de um dia de idade, machos, da linhagem Ross 408®, com peso médio inicial de 39,9g que após pesagem e uniformização, foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em 5 tratamentos: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA), apresentado na Figura 1. Foram utilizadas seis repetições, totalizando 30 boxes, com 50 aves cada. A ração experimental foi fornecida *ad libitum*, a base de milho e farelo de soja, de acordo com a fase produtiva atendendo as exigências nutricionais propostas por Rostagno et al. (2017). A densidade utilizada foi de 12,3 aves/m².

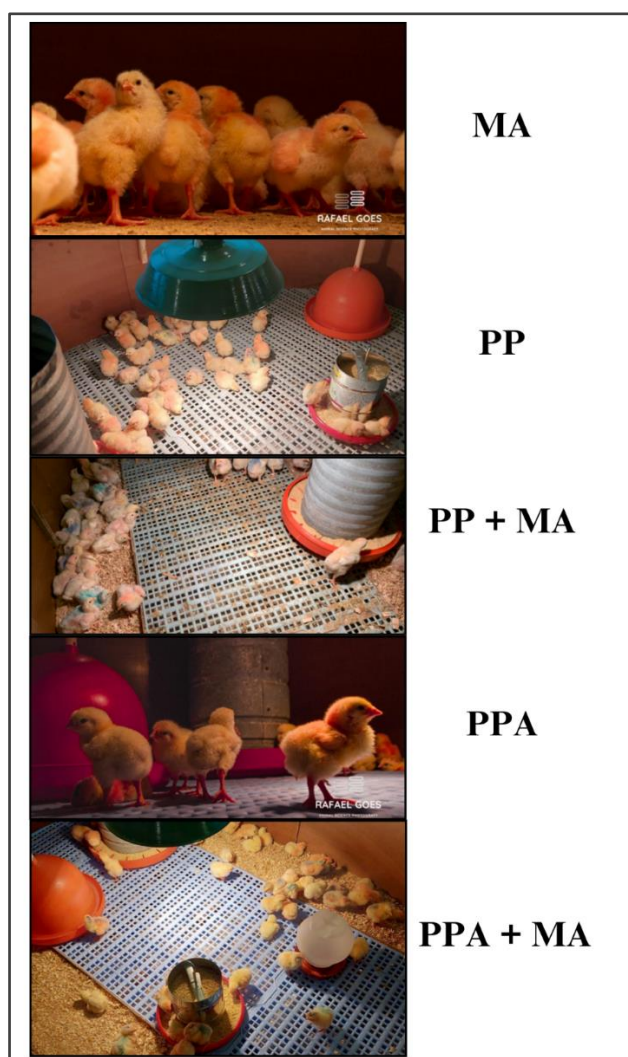


Figura 1. Tratamentos utilizados no experimento: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Descrição dos materiais de cama

O piso plástico não comercial utilizado era de polietileno de alta densidade (PEAD), com proteção contra ultravioleta (UV) foi projetado para montagem no interior dos boxes experimentais, com placas encaixáveis no tamanho de 100 x 60 cm e perfurações de 12 x 12 mm para passagem das excretas. As placas ficaram suspensas em perfis a 20 cm do piso do aviário.

O aditivo utilizado no piso possuía função antibacteriana e antifúngica, desenvolvido a base de óxido de zinco (MpZn_1300, TSNano, Florianópolis, SC, Brasil) e foi injetado durante a fabricação do piso que possuíam esse tratamento.

A área total dos boxes era de 2,90 x 1,40 m, sendo que no tratamento 50% maravalha e 50% piso de plástico, o piso correspondeu a uma faixa longitudinal de 2,90 x 0,70 m e a maravalha completou as laterais, totalizando 2,90 x 0,70 m de área com maravalha.

A maravalha foi revolvida semanalmente, não realizando reposição do material, mesmo após sua compactação, ocasionando em uma pequena declividade entre o piso plástico e a maravalha nos tratamentos parciais. Não foi realizando nenhum manejo de limpeza dos pisos durante a condução do protocolo experimental.

Biometria dos órgãos e lesões de Eimeria

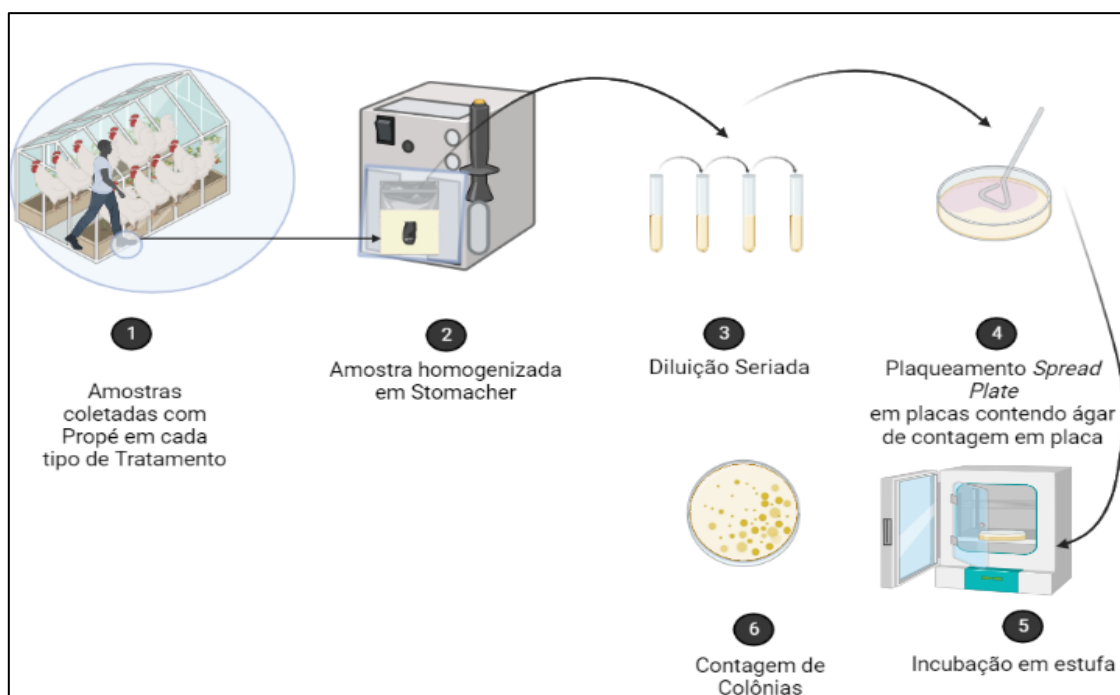
Foi utilizada 1 ave por repetição, totalizando 6 aves por tratamento nos períodos de 7, 14, 28 e 40 dias de idade para lesões de *Eimeria* e 14, 28 e 40 dias para a biometria dos órgãos. As aves foram selecionadas com base no peso médio do lote, sem jejum alimentar, sendo sacrificadas por deslocamento cervical e a sangria ocorreu por corte das veias jugulares e artérias carótidas. Após o sacrifício, foi realizada a coleta do fígado, coração, baço e moela (sem o conteúdo alimentar) para avaliação da biometria desses órgãos, estimou-se o peso em balança analítica de precisão (0,001g). Nas mesmas aves foi mensurado o grau de lesão causado por *Eimeria* no duodeno, jejuno e íleo. A classificação do tipo de *Eimeria* foi baseada de acordo com a localização da lesão, onde: *Eimeria acervulina* avaliada através de lesões no duodeno; *Eimeria maxima* avaliada através de lesões entre o duodeno e o divertículo de Meckel; *Eimeria*

brunetti avaliada através de lesões no íleo; *Eimeria tenella* avaliada através de lesões nos cecos. O grau das lesões variou de 0 a 4, em que (0) representou sem lesões e (4) lesão de alta severidade, conforme metodologia descrita por Johnson e Reid (1970) e Conway e McKenzie (2007).

Microbiologia dos materiais de cama

Para as pesquisas microbiológicas foram realizadas as coletas de *swab* de arrasto nos materiais de cama, nos dias 0, 1, 15, 29 e 43. Os propés utilizados para coleta foram esterilizados via raio gama e embebidos em água peptonada tamponada a 1%. Para coleta foram utilizadas botas plásticas descartáveis e posteriormente calçado os propés sobre as botas e caminhado sobre a cama, em toda a área do box. Foi utilizado uma amostra por repetição, totalizando 30 amostras. Após a coleta, os propés foram acondicionados em sacos plásticos estéreis, lacrados e levados para análise laboratorial.

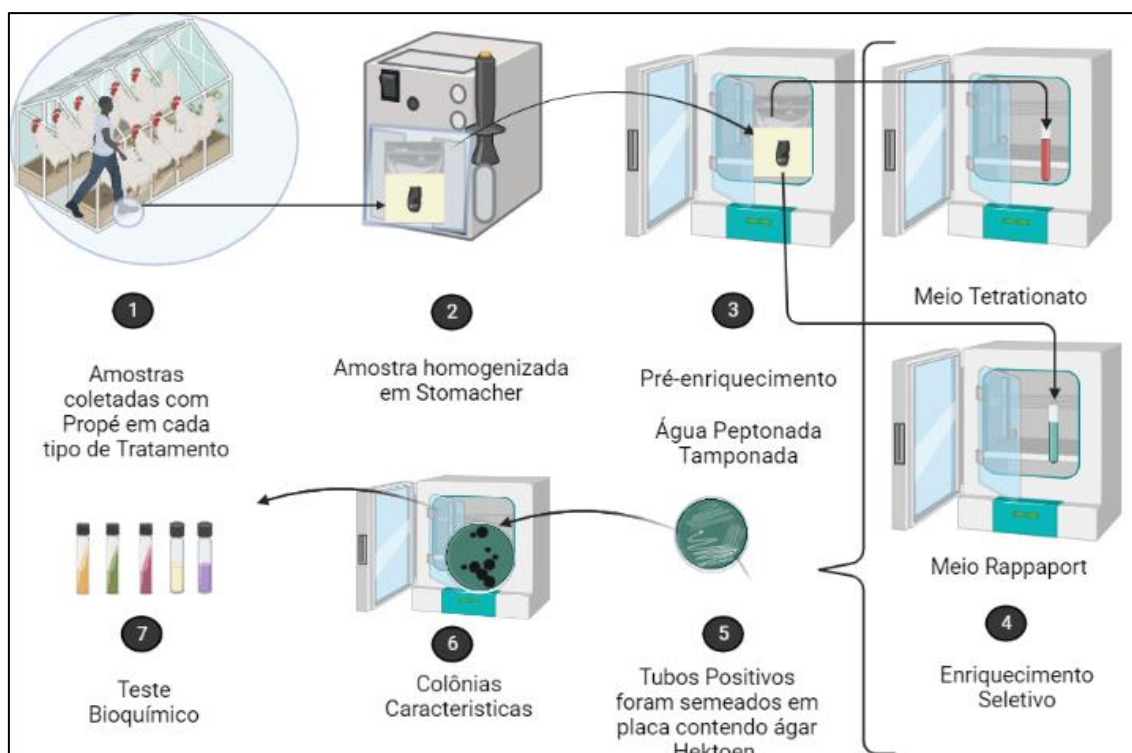
A pesquisa de microrganismos heterotróficos foi realizada baseada no método (ISO 4833-1:2013) em que as amostras de propés foram pesadas, colocadas em sacos plásticos estéreis e homogeneizadas com água peptonada tamponada (APT) na proporção de 1:9 (Oxoid, Baringstoke, Hampshire, Reino Unido). Posteriormente, foram realizadas diluições seriadas até 10^{-10} em água peptonada, e semeadas em Ágar de Contagem de Placa (PCA) pela técnica de *spread plate* e incubadas à 37°C. Após 24 horas as colônias foram quantificadas e os resultados expressos em UFC/g (Silva et al., 2017) (Figura 2).



Elaborado em BioRender.

Figura 2. Metodologia de pesquisa de heterotróficos.

A detecção de *Salmonella* spp foi baseada no método padrão (ISO 6579:2002/Amd.1:2007). As amostras de propés foram homogeneizadas em água peptonada tamponada (APT) (Oxoid, Baringstoke, Hampshire, Reino Unido) na proporção de 1:9 incubado à 37°C por 18-24 h para pré-enriquecimento. Alíquota de 0,1 ml de amostra pré-enriquecida foi adicionado a 10 ml de caldo Rappaport-Vassiliadis (RV) (Merck, KGaA, Darmstadt, Alemanha), incubado à 42°C por 24 h, e alíquota de 1 mL foi inoculado em 10 mL de caldo tetracionato (TT) (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha) e incubado à 37°C por 24 h. Após a incubação, uma alça cheia de cultura do caldo de enriquecimento RV e TT foi semeada em placas contendo ágar Hektoen (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha) no qual foram incubadas à 37°C por 24 h. As colônias com ponto negro e halo transparente, foram isoladas e submetidas aos testes bioquímicos (Silva et al., 2017) (Figura 3).



Elaborado em BioRender.

Figura 3. Metodologia de pesquisa de *Salmonella*.

Desempenho e rendimento de carcaça e cortes

Para avaliação do desempenho foram utilizadas as variáveis de consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar e viabilidade, todos avaliados por boxe semanalmente de forma cumulativa. Os períodos de avaliação foram de 1 a 7 dias, 1 a 21 dias e 1 a 42 dias.

Aos 42 dias de idade, três aves por repetição por tratamento, com variação de $\pm 10\%$ do peso médio do lote, foram submetidas a um período de jejum alimentar de 6 horas, pesadas para mensuração do peso vivo (PV), eutanasiadas por deslocamento cervical e sacrificadas por meio da secção das veias jugulares e artérias carótidas, sangradas por três minutos, escaldadas a 58°C , depenadas, evisceradas e retirados os pés e cabeça. Após a evisceração das carcaças, estimou-se o peso de carcaça quente (PCQ). Posteriormente, todas as carcaças foram submetidas ao pré-chiller durante 18 minutos (10 a 18°C) e chiller por 12 minutos (0 a $^{\circ}\text{C}$) como forma de resfriamento da carcaça e então realizou-se a pesagem para mensurar o peso de carcaça resfriada (PCR).

O rendimento da carcaça quente (RCQ) foi obtido por meio da equação: $RCQ = PCQ \cdot 100 / PV$. Os rendimentos dos cortes de peito, perna, asa, dorso, peito e pernas desossadas foram mensurados com base no PCR.

Lesões, incidência de miopatias e qualidade de carne

Após o resfriamento das carcaças, foram analisadas as incidências de lesões: dermatite de contato, arranhões dorsais (recentes e antigos), calo de peito e hematomas. As análises foram avaliadas por escore de lesão, sendo 0 (sem lesão), 1 (com lesão moderada), 2 (com lesão severa), de acordo com cada categoria, conforme metodologia proposta por Martrenchar et al. (2002).

Após o corte e desossa, o peito foi mantido refrigerado por 24 horas à temperatura de 5 °C para a avaliação da incidência das miopatias *wooden breast* e *white striping*, dimensões do filé, pH, colorimetria, capacidade de retenção de água, perda por exsudação. A incidência de *white striping* e *wooden thigh* no músculo da coxa desossada também foram avaliadas, levando-se em consideração a mesma metodologia utilizada no filé do peito.

As miopatias foram avaliadas macroscopicamente de forma visual e por apalpação. Para *wooden breast* e *wooden thigh* considerou-se o grau 0 = ausência de miopatia, grau 1 = intermediário ou moderado e grau 2 = severo (Sihvo et al., 2017). Para avaliação de miopatia *white striping* estabeleceu-se a escala sendo 0 = normal (sem linhas brancas), 1 = moderado (linhas brancas pequenas, espessura menor que 1 mm), 2 = severo (grandes linhas brancas de 1 a 2 mm de espessura) e 3 = extremo (linhas brancas grossas maior que 2 mm de espessura, cobrindo quase toda a superfície do filé) (Kuttappan et al., 2016).

As dimensões do peito foram realizadas com auxílio de um paquímetro digital mensurando a largura (cm), comprimento (cm) e espessuras dos filés (mm) (Mudalal et al., 2014).

Para o pH utilizou-se pH-metro digital Testo 205 (calibrado com soluções tampões com pH 4,0 e 7,0 + 0,05/25°C), sendo a medição realizada em três diferentes pontos do peito, registrando-se o valor médio das três medições (Van Laack et al., 2000).

Os filés ficaram expostos por 30 minutos em temperatura ambiente, para análise de coloração. Utilizou-se o colorímetro portátil Minolta CR 400, no sistema

CIELab, avaliando-se os parâmetros L* (luminosidade), a*(teor de vermelho) e b* (teor de amarelo), utilizando a média de três pontos (Van Laack et al., 2000).

Para avaliação da capacidade de retenção de água (CRA) foram pesados 2 gramas de amostra, que foram então colocadas entre dois papéis de filtro, duas placas de vidro e prensados por 5 minutos com um peso de 10 kg. Após este procedimento a amostra de peito foi pesada novamente e calculada a porcentagem da diferença dos pesos (Hamm, 1961).

A perda por exsudação (DL) foi realizada com amostras de 80 gramas, acondicionada em uma rede suspensa dentro de uma embalagem plástica com tampa por um período de 48 horas à temperatura de 4°C, sendo novamente pesadas após esse período (Mudalal et al., 2015). A determinação da porcentagem de perda por exsudação foi realizada pela diferença entre o peso final e peso inicial da amostra.

Análises de perdas por descongelamento, cozimento e força de cisalhamento foram realizadas após 30 dias de congelamento das amostras (-20°C).

Para perda de peso por descongelamento (PPD), as amostras congeladas foram pesadas e permaneceram refrigeradas a 4°C por 24 horas e posteriormente foram pesadas, conforme metodologia adaptada por Honikel (1987). A diferença entre o peso inicial (congelado) e final (após descongelamento), correspondeu a perda por descongelamento (%).

Para a perda de peso por cocção (PPC), as amostras de filés de peito foram pesadas e acondicionados em embalagens plásticas e cozidas em banho maria a 85°C por 30 minutos. Após o cozimento, os filés ficaram em temperatura ambiente até estabilizar a temperatura e pesados novamente segundo metodologia proposta por Honikel (1987). A diferença entre o peso inicial do peito (*in natura*) e final (peito cozido) correspondeu a perda de peso por cozimento.

Para a determinação da força de cisalhamento foi utilizado um texturômetro AXT 2i (*stable micro Systems*). Após o cozimento da análise anterior, foram cortadas cinco amostras por peito nas dimensões de 1x1x2cm e colocadas com as fibras orientadas no sentido perpendicular entre às lâminas do equipamento com velocidade de descida de 200 mm/min de acordo com Sams et al. (1990). Foi realizada a média das 5 amostras para determinar a força de cisalhamento de cada peito.

Análise Estatística

Os dados de biometria dos órgãos, microrganismos heterotróficos, desempenho, qualidade de carne, rendimento de carcaça foram avaliados quanto à normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro Wilk e homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. Assim, foi realizada uma análise de variância utilizando o PROC MIXED do SAS (2014), os modelos estatísticos incluíram o tipo de piso como fator fixo e o efeito de animal, aninhado dentro de cada tratamento, incluído como fator aleatório em todos os modelos (comando RANDOM). Quando significativo realizou-se o teste de Tukey para comparação das médias dos tratamentos, considerando o nível de 5%.

Para análise estatística da presença de *Salmonella* nos materiais de cama, por se tratar de uma variável categórica, foi realizado o teste do qui-quadrado ou exato de Fisher com uso do procedimento FREQ do SAS (SAS 9.4, 2015), adotando-se o nível de significância de 5%. Os dados nas tabelas estão expressos em porcentagem do número de amostras avaliadas de cada tratamento, seguido do número inteiro correspondente a esta porcentagem.

Nas observações de lesões de *Eimeria* foi realizada uma análise descritiva dos dados.

Os dados obtidos para avaliações das miopatias foram dados de scores, portanto, esses dados não têm distribuição normal. Assim, utilizou-se a teoria de modelos lineares generalizados proposta por Nelder e Wenderburn (1972) e aplicou-se o procedimento SAS GLIMMIX (SAS, 2003). A distribuição dos dados foi GAMMA, exceto para os dados de espondilolistese e fraturas digitais, em que foi utilizada a distribuição BINÁRIA. Para os dados de lesões de carcaça por se tratarem de dados de presença ou ausência foi adotada a distribuição binária. A distribuição GAMMA assume que os resíduos de dados têm comportamento exponencial, enquanto a distribuição BINARY assume que os resíduos têm comportamento de Poisson.

3. Resultados

Não houve diferença significativa entre os tratamentos no desempenho dos frangos de corte até os 7 dias de idade (Tabela 1).

O piso de plástico não interferiu no consumo de ração e viabilidade das aves até os 21 dias de idade. Entretanto, a MA mostrou-se crucial para o ganho de peso, visto que as aves criadas sobre os tratamentos que apresentavam maravalha na sua composição (MA, PP+MA e PPA+MA), obtiveram maior ganho de peso do que as aves

criadas sobre piso plástico (PP e PPA) aos 21 dias ($P=0,002$). Nessa idade, as aves criadas sobre PP apresentaram pior conversão do que as criadas sobre PPA+MA, não diferindo entre os demais tratamentos ($P=0,0114$).

Aos 42 dias, as aves do tratamento PP consumiram menos ração quando comparadas as aves do PP+MA e PPA+MA ($P=0,0012$). Além do ganho de peso e a conversão alimentar ser pior nas aves criadas sobre o piso plástico (PP e PPA) ($P<0,0001$), a viabilidade foi menor ($P<0,0001$), ratificando a importância do substrato como material de cama para frangos de corte criados até os 42 dias.

Tabela 1. Desempenho de frangos de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Variáveis	Materiais de Cama					EPM	Valor de P
	MA	PP	PP + MA	PPA	PPA + MA		
1 a 7 dias							
Consumo de ração (g)	141,56	146,38	146,64	146,86	149,29	1,497	0,6147
Ganho de Peso (g)	127,13	121,42	127,94	124,15	130,41	1,219	0,1561
Conversão Alimentar (g/g)	1,113	1,206	1,148	1,181	1,148	0,014	0,3294
Viabilidade (%)	98,00	98,00	98,67	97,67	100,00	0,341	0,2025
1 a 21 dias							
Consumo de ração (g)	1221,08	1269,62	1268,30	1287,03	1270,07	0,282	0,5422
Ganho de Peso (g)	863,95a	791,63c	858,47ab	804,53bc	883,88a	1,62	0,0002
Conversão Alimentar (g/g)	1,471ab	1,607a	1,478ab	1,599ab	1,437b	0,751	0,0114
Viabilidade (%)	93,35	90,67	93,66	91,95	95,66	0,745	0,2837
1 a 42 dias							
Consumo de ração (g)	4537,92abc	4201,42c	4773,83a	4354,18bc	4638,38ab	1,432	0,0012
Ganho de Peso (g)	2709,15a	2009,52b	2709,50a	2099,85b	2766,73a	0,307	<0,0001
Conversão Alimentar (g/g)	1,679b	2,098a	1,765b	2,081a	1,677b	0,060	<0,0001
Viabilidade (%)	76,75a	55,33b	79,00a	55,83b	79,66a	1,804	<0,0001

EPM: Erro padrão da média

*Os valores médios na mesma linha seguidos por diferentes letras minúsculas diferem significativamente ($P<0,05$).

Aos 14 dias as aves criadas sobre PPA apresentaram maior peso de fígado do que as aves criadas na MA e PPA+MA (Tabela 2). Além disso, as aves criadas sobre a maravalha tiveram o menor peso de moela. Não houve efeito dos materiais de cama sobre o peso dos órgãos no período de 28 dias. Com 40 dias o maior peso de moela foi

observado nas aves criadas sobre MA em relação as aves criadas sobre PP, não sendo observado diferença estatística entre o peso dos outros órgãos.

Tabela 2. Biometria dos órgãos (g) de frango de corte criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% maravalha e 50% piso plástico (MA+PP); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% maravalha e 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (MA+PPA).

Orgãos	Materiais de Cama					EPM	Valor de P
	MA	PP	PP+MA	PPA	PPA+MA		
14 dias							
Coração	3,39	3,99	3,73	3,89	4,14	0,098	0,1372
Fígado	14,43c	18,01ab	18,50ab	18,71a	16,11bc	0,407	0,0002
Baço	0,48	0,51	0,38	0,44	0,57	0,031	0,4686
Moela	10,57b	11,85ab	12,792a	13,19a	13,45a	0,260	0,0005
28 dias							
Coração	10,15	10,91	10,47	11,32	10,64	0,305	0,8163
Fígado	37,35	43,04	40,10	41,88	40,16	0,808	0,2261
Baço	1,72	1,76	1,64	1,58	1,82	0,076	0,8955
Moela	30,62	27,94	30,65	28,16	31,23	0,672	0,3948
40 dias							
Coração	16,42	17,22	17,01	17,31	16,63	0,286	0,7941
Fígado	59,08	64,32	60,00	62,07	58,90	1,162	0,2482
Baço	3,08	3,03	3,34	2,85	3,16	0,106	0,6964
Moela	40,51a	35,17b	38,73ab	35,70ab	39,71ab	0,673	0,0217

EPM: Erro padrão da média

*Os valores médios na mesma linha seguidos por diferentes letras minúsculas diferem significativamente ($P < 0,05$).

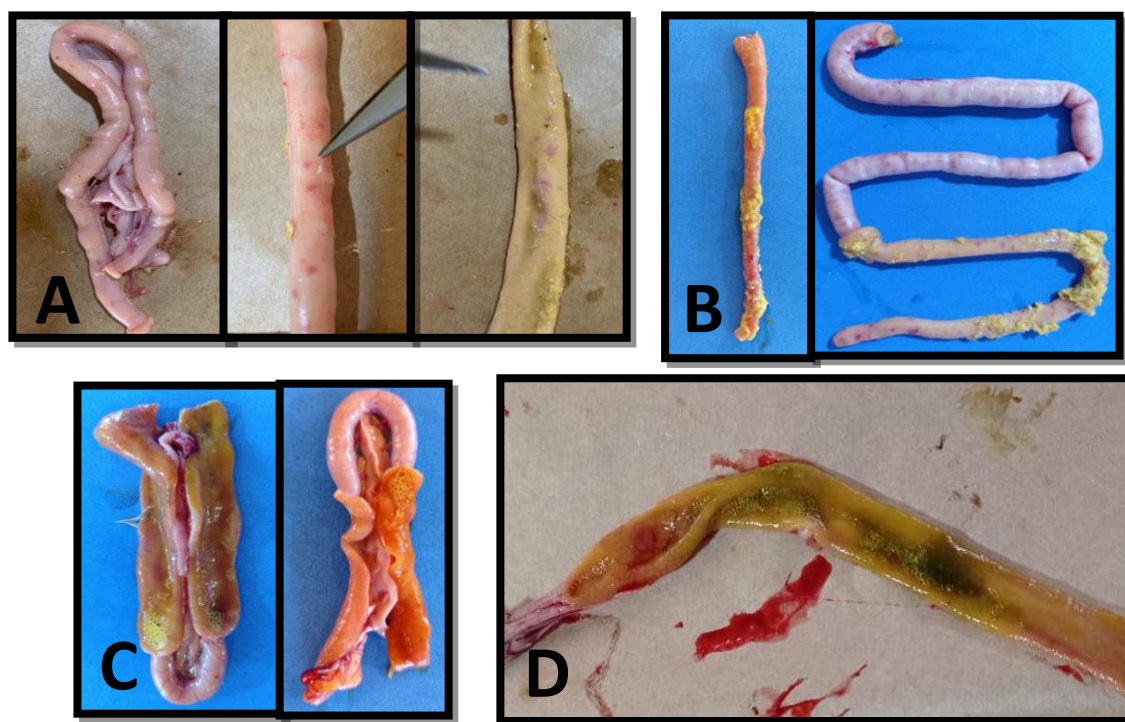
Aos 7 dias não foram encontradas lesões características de *Eimeria spp.* no intestino das aves.

Aos 14 dias uma ave do tratamento PP+MA apresentou lesões características de acometimento por *Eimeria brunetti* (grau 2), com petéquias numerosas na superfície serosa principalmente em íleo e petéquias menos numerosas na superfície mucosa.

Com 28 dias de idade das aves, duas aves do tratamento piso plástico com antimicrobiano, uma ave dos tratamentos: PP, PP+MA e PPA+MA apresentaram lesões características de *Eimeria brunetti* (grau 1).

Aos 42 dias foram encontradas lesões características de *Eimeria brunetti* (grau 1) em duas aves do tratamento MA, uma ave do tratamento PPA+MA e uma ave do tratamento PP+MA. Também foram encontradas lesões características de acometimento de *Eimeria maxima* (grau 3) em 4 aves do tratamento PP com espessamento da parede

intestinal, muco laranja abundante e vestígios de sangue no muco. Uma ave do tratamento MA e uma ave do tratamento PPA+MA apresentou lesões características de *Eimeria maxima* (grau 2), com parede intestinal espessada, petéquias na superfície serosa, pequenas petéquias na mucosa e conteúdo aquoso com muco laranja (Figura 4).

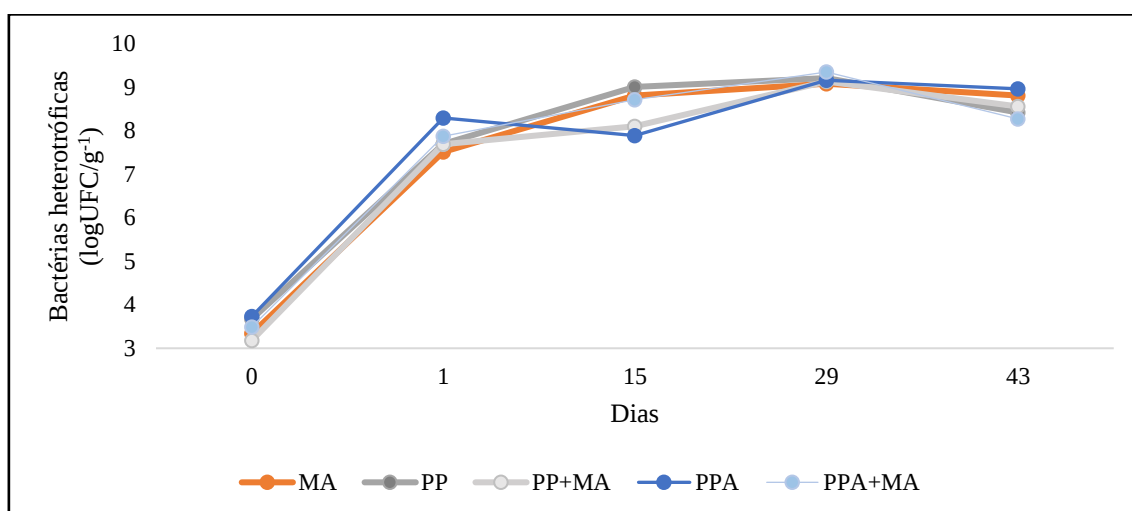


Fonte: Arquivo pessoal

Figura 4. Lesões macroscópicas de *Eimeria* em frangos de corte. A: Lesões características de *Eimeria brunetti* grau 1. B: Lesões características de *Eimeria brunetti* grau 2. C: Lesões característica de *Eimeria maxima* grau 2. D: Lesões característica de *Eimeria máxima* grau 3.

Quando analisada a quantidade de bactérias heterotróficas, não houve diferença entre os tratamentos, mostrando um comportamento semelhante no decorrer do tempo independente do material de cama (Figura 5). A presença das aves sobre a cama foi determinante para o aumento de mesófilos (0 para 15 dias) e o piso com aditivo antimicrobiano não apresentou eficiência sobre a população microbiana nesse trabalho.

Houve efeito do material de cama sobre a presença de *Salmonella* aos 15 dias ($P=0,0227$), sendo que o PP presente em 33,33% das amostras, e o PPA e PPA+MA em 16,67%, com ausência nos demais tratamentos. Nos outros períodos avaliados, houve baixa incidência da bactéria, não ocorrendo presença de *Salmonella* nas amostras coletadas (Tabela 3).



Equações do desdobramento das interações tratamento*tempo e erro padrão dos coeficientes de determinação:

MA: $y = 0,00005739x^3 - 0,00832x^2 + 0,38407x + 3,38172$ $P = 0,0099$

PP: $y = 0,000043x^3 - 0,00728x^2 + 0,36137x + 3,72631$ $P = 0,0156$

PP+MA: $y = -0,00000574x^4 + 0,00074996x^3 - 0,03384x^2 + 0,65923x + 3,21833$ $P = 0,0002$

PPA: $y = -0,00000825x^4 + 0,00107x^3 - 0,04615x^2 + 0,78322x + 3,76$ $P = 0,0002$

PPA+MA: $y = -0,00000384x^4 + 0,00050523x^3 - 0,02449x^2 + 0,56249x + 3,37667$ $P = 0,0106$

Figura 5. Contagem de bactérias heterotróficas (log UFC/g⁻¹) de diferentes materiais de cama de frango de corte: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% maravalha e 50% piso plástico (MA+PP); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% maravalha e 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (MA+PPA).

Tabela 3. Presença de *Salmonella* spp (%) em diferentes materiais de cama de frango de corte: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% maravalha e 50% piso plástico (MA+PP); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% maravalha e 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (MA+PPA).

Dias	Resultado	Materiais de Cama					Valor de P
		MA	PP	PP+MA	PPA	PPA+MA	
0	Ausente	100(6/6)	83,33(5/6)	100(6/6)	83,33(5/6)	100(6/6)	0,0828
	Presente	0(0/6)	16,67(1/5)	0(0/6)	16,67(1/5)	0(0/6)	
1	Ausente	100(6/6)	100(6/6)	100(6/6)	100(6/6)	100(6/6)	1,0000
	Presente	0(0/6)	0(0/6)	0(0/6)	0(0/6)	0(0/6)	
15	Ausente	100(6/6)	66,67(4/6)	100(6/6)	83,33(5/6)	83,33(5/6)	0,0227
	Presente	0(0/6)	33,33(2/6)	0(0/6)	16,67(1/5)	16,67(1/5)	
29	Ausente	100(6/6)	100(6/6)	100(6/6)	100(6/6)	100(6/6)	1,0000
	Presente	0(0/6)	0(0/6)	0(0/6)	0(0/6)	0(0/6)	
43	Ausente	100(6/6)	100(6/6)	100(6/6)	100(6/6)	100(6/6)	1,0000

Presente 0(0/6) 0(0/6) 0(0/6) 0(0/6) 0(0/6)

*Resultados expressos em percentagem do número de amostras avaliadas de cada tratamento, seguido do número inteiro correspondente a esta percentagem.

Houve diferença significativa no peso vivo e peso da carcaça quente e resfriada das aves abatidas aos 42 dias ($P < 0,0001$), sendo que as aves criadas sobre piso (PP e PPA) apresentaram menores pesos (Tabela 4).

Não houve interferência dos tratamentos nos rendimentos de cortes, apresentando diferença significativa somente para o rendimento de carcaça quente ($P = 0,0019$) e rendimento de carcaça resfriada ($P = 0,0108$), sendo que as aves criadas sobre a MA apresentaram maiores rendimentos em ambas as variáveis, quando comparadas as criadas sobre PP e PPA em ambas as variáveis (Tabela 5).

Tabela 4. Peso vivo (PV), peso de carcaça quente (PCQ), peso de carcaça resfriada (PCR) de frangos de corte aos 42 dias, criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Variáveis	Materiais de Cama					EPM	Valor de P
	MA	PP	PP + MA	PPA	PPA + MA		
PV (kg)	3,17ab	2,72c	3,07b	2,73c	3,21a	0,026	<0,0001
PCQ (kg)	2,44a	2,06b	2,34a	2,07b	2,42a	0,023	<0,0001
PCR (kg)	2,44ab	2,05c	2,32b	2,05c	2,46a	0,023	<0,0001

EPM: Erro padrão da média

*Os valores médios na mesma linha seguidos por diferentes letras minúsculas diferem significativamente ($P < 0,05$).

Tabela 5. Rendimento de cortes, carcaça quente (RCQ) e carcaça resfriada (RCR) de frangos de corte aos 42 dias, criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Variáveis	Materiais de Cama					EPM	Valor de P
	MA	PP	PP + MA	PPA	PPA + MA		
RCQ (%)	77,16a	74,70b	76,27ab	74,71b	75,75ab	0,231	0,0019
RCR (%)	76,99a	75,36b	76,39ab	74,96b	76,44ab	0,213	0,0108
Peito (%)	44,69	44,50	44,86	44,34	44,06	0,221	0,8091
Pernas (%)	27,68	27,66	27,73	27,73	28,07	0,148	0,9156
Asas (%)	9,23	9,44	9,38	9,57	9,29	0,057	0,4181

Dorso (%)	17,76	17,63	17,83	17,88	18,10	0,143	0,8982
Peito Desossado (%)	36,70	35,69	36,89	36,44	35,59	0,253	0,3540
Pernas (%)	19,57	19,46	19,59	19,27	19,65	0,142	0,9341
Desossadas (%)							

EPM: Erro padrão da média

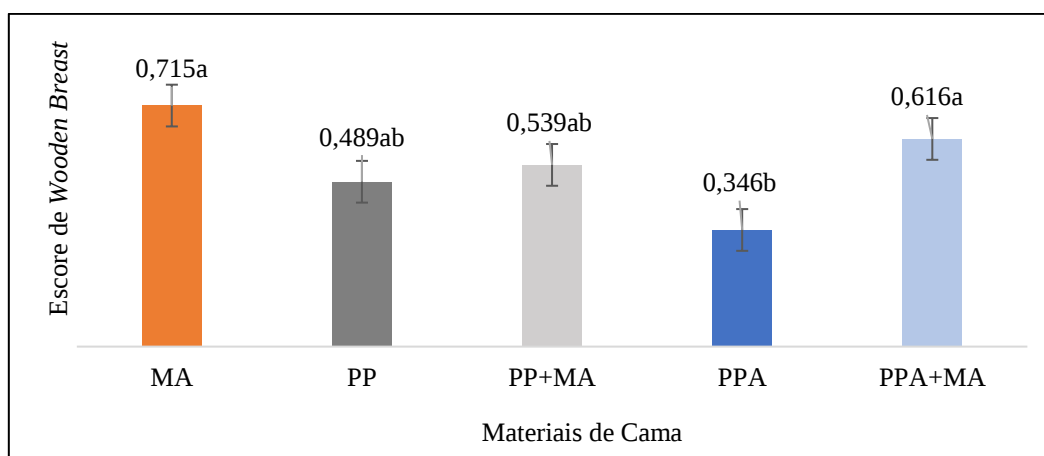
*Os valores médios na mesma linha seguidos por diferentes letras minúsculas diferem significativamente ($P < 0,05$).

O material de cama não interferiu nas lesões de calo de peito, arranhão (antigo e recente), hematoma e dermatites de carcaça (Tabela 6). Não houve influência do piso sobre as lesões de coxa (*white striping* e *wooden thigh*) e *white striping* no filé de peito. Entretanto nas lesões de *wooden breast* de peito, as aves criadas sobre PPA apresentaram menor incidência do que as criadas sobre MA e PPA + MA ($P = 0,0023$) (Figura 6).

Tabela 6. Escore de incidência de calo de peito, arranhão, hematomas e dermatites de carcaça de frangos de corte abatido aos 42 dias, criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Variáveis	Materiais de Cama					Valor de P
	MA	PP	PP + MA	PPA	PPA + MA	
Calo de peito	0	0	0	0	0	1,0000
Arranhão recente	0,555(0,11)	0,588(0,11)	0,666(0,11)	0,611(0,11)	0,500(0,11)	0,8879
Arranhão antigo	0,277(0,10)	0,294(0,11)	0,222(0,09)	0,444(0,11)	0,388(0,11)	0,6340
Hematoma	0,722(0,10)	0,705(0,11)	0,722(0,10)	0,722(0,10)	0,611(0,11)	0,9392
Dermatites	0,888(0,07)	0,882(0,07)	0,944(0,05)	0,944(0,05)	0,944(0,05)	0,9125

* Valores entre parênteses representam o erro padrão de cada média estimada.



Efeito do tipo de piso no escore de *wooden breast* (média mínimos quadrados $\pm$ que o erro padrão retransformada, valores mais altos indicam anormalidades mais altas). Letras diferentes (a,b) indicam diferenças estatisticamente significativas em $P < 0,05$.

Figura 6. Escore de lesão de *Wooden Breast* de frangos de corte aos 42 dias, criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

No que se refere a qualidade de carne, não houve diferença nas variáveis de L^* , capacidade de retenção de água, perda por exsudação, perda de peso por descongelamento, perda de peso por cocção e força de cisalhamento (Tabela 7). Os menores valores das dimensões dos filés de peito foram os das aves criadas em PP e PPA (comprimento $P=0,0282$; largura $P<0,0001$; espessura $P=0,0007$). Os filés das aves do tratamento MA e PPA + MA apresentaram maior pH e teor de amarelo do que os do tratamento PPA ($P=0,0051$ e $P=0,0096$). No teor de vermelho, os filés do tratamento MA e PPA + MA apresentaram menor teor do que os do tratamento PP ($P=0,0096$).

Tabela 7. Dimensões, pH, teor de vermelho (a^*), teor de amarelo (b^*), luminosidade (L^*), capacidade de retenção de água (CRA), perda por exsudação (DL), perda de peso por descongelamento (PPD), perda de peso por cocção (PPC) e força de cisalhamento (FC) de filé de peito de frango de corte aos 42 dias, criados em diferentes materiais de cama: maravalha (MA); piso plástico (PP); 50% piso plástico e 50% maravalha (PP + MA); piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico (PPA); 50% piso plástico com aditivo antimicrobiano nanotecnológico e 50% maravalha (PPA + MA).

Variáveis	Materiais de Cama					EPM	Valor de P
	MA	PP	PP + MA	PPA	PPA + MA		
Comprimento (cm)	17,87a	17,13b	17,89a	17,67ab	17,77ab	0,083	0,0282
Largura (cm)	9,01a	8,34b	9,02a	8,36b	9,03a	0,068	<0,0001
Espessura (mm)	42,15a	38,63bc	41,57ab	37,62c	41,49ab	0,427	0,0007
pH	5,97a	5,91ab	5,94ab	5,88b	5,97a	0,009	0,0051
a^*	3,50b	4,58a	3,80ab	4,19ab	3,11b	0,131	0,0028
b^*	7,72a	6,53ab	7,35ab	6,25b	7,74a	0,173	0,0096
L^*	48,63	48,39	48,97	49,03	49,08	0,258	0,9105
CRA (%)	31,18	30,31	30,52	30,49	29,55	0,315	0,6023
DL (%)	4	3,62	3,74	3,71	3,45	0,113	0,6413
PPD (%)	5,59	5,1	5,06	5,34	4,84	0,192	0,7819

PPC (%)	24,96	26,23	25,91	25,41	25,49	0,293	0,7214
FC (kgf/cm ²)	1,53	1,68	1,62	1,66	1,66	0,036	0,7239

EPM: Erro padrão da média

*Os valores médios na mesma linha seguidos por diferentes letras minúsculas diferem significativamente (P<0,05).

4. Discussão

O peso da moela está relacionado à sua atividade muscular e repleção, principalmente em decorrência do consumo do alimento, sendo o ambiente de criação das aves considerado fator determinante no consumo de ração, influenciando nesta variável e consequentemente no peso da moela. Na fase inicial foi utilizado papel sobre os materiais de cama com ração e comedouros infantis para facilitar o acesso das aves e estimular o consumo.

O peso da moela aos 40 dias foi maior nas aves criadas sobre maravalha, que está correlacionado ao maior peso dos animais nesse tratamento. Além disso, as aves criadas sobre piso plástico tiveram menor locomoção para o consumo de ração, passando mais tempo sentadas nesse período. Ao avaliarem frangos de corte criados sobre diferentes tipos de cama, Brito et al. (2016) não encontraram diferença de peso de vísceras entre os tratamentos, entretanto atribuiu o menor ganho de peso ao fato de as aves manterem-se em descanso em determinado material de cama, diminuindo o consumo e aproveitamento das dietas.

Não foi encontrado lesões de *Eimeria* aos 7 dias e apenas uma ave aos 14 dias foi acometida. Isso se deve ao pico de infestação de *Eimeria* na cama de frangos ocorrer após as 4 semanas de alojamento (Jenkins et al., 2019). Animais jovens são os mais suscetíveis a infecções clínicas devido à falta de maturidade de seus sistemas imunológicos, enquanto que animais adultos são assintomáticos, o que favorece a disseminação do protozoário e aumento de surtos da doença nesse período (Gazoni et al., 2020).

Neste trabalho, as poucas lesões encontradas foram características de *E. brunetti*. Na criação comercial de frangos de corte sete espécies de *Eimeria* são reconhecidas como infectantes variando em relação a sua patogenicidade. *E. necatrix* e *E. tenella* são consideradas as mais patogênicas, causando hemorragia intestinal e alta morbidade e mortalidade em galinhas; *E. acervulina*, *E. brunetti* e *E. maxima* podem causar doença clínica, enquanto *E. mitis* e *E. praecox* são considerados não patogênicos, mas podem causar taxas de conversão alimentar aumentadas e taxas de

crescimento reduzidas (Jordan et al., 2018). Gazoni et al. (2020) encontram maior frequência de lesões macroscópicas de *E. acervulina* em frangos de corte de aviários brasileiros, com correlações positivas com descamação celular, ingestão de cama e passagem de alimento, seguido de *E. máxima*.

A não diferenciação dos materiais de cama em relação as análises de bactérias heterotróficas podem estar relacionadas com a baixa contaminação do ambiente experimental, não ocorrendo um desafio sanitário e um possível comportamento diferenciado dos materiais de cama. Além disso a baixa temperatura ambiental também pode ter auxiliado nesse resultado, diminuindo a proliferação bacteriana. Soliman e Hassan (2020) concluíram que o uso de piso plástico e gaiolas conseguem manter a qualidade do ar e diminuir a contaminação bacteriana. Heitmann et al. (2020) avaliaram parâmetros microbiológicos do piso plástico na produção de frangos de corte não encontrando efeito do piso plástico parcial sobre as bactérias avaliadas (coliforme, *E. coli* e bactérias produtoras de ESBL). Quando realizado *swabs* em aviários de matrizes, foi encontrado a presença de *Salmonella* em 70,1% das amostras de piso e 74,4% das amostras de cama de maravalha, mostrando realmente que não há diferenciação microbiológica entre os materiais (Behnke et al., 2013).

Além do ambiente não ter favorecido para um desafio sanitário, uma hipótese para o piso antimicrobiano nanotecnológico ter sua eficiência expressa, seria o teste da sua reutilização a longo prazo, verificando sua ação sobre a inibição de biofilme. A eficácia antimicrobiana depende de fatores diversos e no caso do antimicrobiano utilizado nesse trabalho (em escala nanométrica a base de óxido de zinco), sua ação se dá quando ocorre a migração do íon metálico para afetar a integridade da membrana microbiana (Bastarrachea et al., 2015). Embora as nanopartículas de óxido de zinco apresentem excelente ação antimicrobiana contra bactérias gram positivas e gram negativas, foi evidenciado que possui uma melhor atividade antimicrobiana sobre bactérias gram positivas (Yusof et al., 2019). Sendo a *Salmonella* do grupo gram negativo, há uma maior resistência dessas bactérias as nanopartículas de óxido de zinco.

A maravalha foi crucial para o desempenho das aves especialmente após os 21 dias de idade das aves. Os resultados mostraram que as aves criadas na presença de maravalha apresentaram melhor conversão e viabilidade quando comparada com o piso plástico (PP e PPA) no final do período experimental. Contrário a essa pesquisa, outros autores não encontraram diferença no desempenho de frangos de corte criados em cama convencional e piso plástico (Li et al., 2017; El-Maaty et al., 2023; Kaya et al., 2024).

O consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar e viabilidade foram inferiores nas aves criadas sobre piso plástico provavelmente em decorrência da limitada locomoção das aves, em função de problemas locomotores, permanecendo mais tempo sentadas e conseqüentemente piorando seus parâmetros de desempenho. Além disso, as aves criadas em maravalha tendem a ser mais ativas do que as criadas sobre piso plástico por proporcionar um ambiente mais próximo ao natural (Khan et al., 2023).

A baixa temperatura ambiental durante o período experimental (mínima de 6,25 °C, máxima 25,16 °C) pode ter influenciado a alta mortalidade das aves, agravando-se nas aves criadas sobre o piso plástico (PP e PPA). A distribuição de calor no piso plástico é menos uniforme quando comparada a cama de maravalha (Li et al., 2017). O frio extremo é um dos fatores predisponentes da síndrome de hipertensão pulmonar (ascite) (Hossain e Akter, 2022).

As aves criadas em piso plástico (PP e PPA) tiveram menor peso e resultaram em rendimento de carcaça inferior à das aves criadas onde havia maravalha, bem como menores medidas do filé de peito. Entretanto, os diferentes materiais de cama não afetaram o rendimento dos cortes. Cabe ainda ressaltar que o piso com antimicrobiano não apresentou nenhuma eficiência em relação ao desempenho e rendimentos de carcaça.

Era esperado que houvesse uma diferenciação entre os dois materiais de cama avaliados e as suas composições, nas características de lesões de carcaça, já que são materiais totalmente diferentes em relação a limpeza, umidade e amônia, influenciando principalmente em lesões de calo de peito (Li et al., 2017; Almeida et al., 2018). Entretanto, não houve diferença nas variáveis de lesões de carcaça, não apresentando calo de peito, semelhante ao encontrado por outros pesquisadores (Almeida et al., 2018). A temperatura ambiental baixa pode ter interferido positivamente nesse quesito, já que calos de peito são mais significativos em aves criadas no verão nesse tipo de piso plástico (Li et al., 2017).

As lesões *wooden breast* no peito de frangos de corte são multifatoriais e o aumento da incidência das lesões está associada ao ganho de peso e maior desenvolvimento do músculo peitoral (Hammemi et al., 2024). A miopatia *wooden breast* foi maior nas aves criadas sobre a MA e PPA+MA que também tiveram maior peso vivo, rendimento de carcaça e dimensões do peito se comparadas as aves criadas somente no piso plástico.

As aves criadas em PP apresentaram maior teor de vermelho da carne comparada as aves da MA e PPA+MA, diferindo dos resultados de Özbek et al. (2020), que encontram valores maiores de teor de vermelho na carne de frangos criados em casca de arroz comparados as aves criadas em sistemas ao ar livre e piso plástico. As aves criadas sobre a MA e PPA+MA apresentaram uma carne com maior teor de amarelo. A cor da carne é um atrativo para o consumidor e representa grande influência na escolha do produto. Nesse sentido, a carne que apresenta maior coloração vermelha, tende a ter uma aceitação melhor, enquanto que alto valor de b^* indica uma cor indesejável (Marchewka et al., 2022), sendo assim o tratamento PP apresentou efeitos positivos nessa variável.

Embora os valores de pH estejam dentro do ideal para carne de frango (5,6 a 6,4) (Durmus et al., 2023), os valores mais altos de pH encontrados no peito das aves criadas sobre MA e PPA+MA, podem estar relacionados ao tamanho do peito, já que existe uma correlação entre essas variáveis, sendo que aves com o músculo peitoral mais pesado apresentam um pH mais elevado em virtude do baixo potencial glicolítico desse músculo (Tasoniero et al., 2016; Dalle Zotte et al., 2017; Kaya et al., 2024). Diferente a essa pesquisa, outros autores encontraram resultados superiores de pH da carne de frangos criados sobre piso plástico em comparação a maravalha (Özbek et al., 2020; Kaya et al., 2024).

5. Conclusões

O material plástico como cama de frango apresentou desafios relacionados a *Eimeria*, com maior acometimento das aves apresentando lesões intestinais característica de coccidiose. O aditivo antimicrobiano do piso plástico não apresentou o efeito esperado de minimizar a presença de microrganismos patógenos.

O uso do piso plástico em substituição total a maravalha mostrou limitação para frangos de corte até os 42 dias, influenciando negativamente o desempenho, peso e rendimento de carcaça. Entretanto não interferiu nos parâmetros de rendimento de cortes e lesões de carcaça. No que se refere a qualidade de carne, as aves criadas sobre o piso plástico obtiveram uma carne mais avermelhada e menos amarelada, porém não apresentando grandes alterações nas demais variáveis.

Uma alternativa seria a utilização de piso plástico em conjunto com a maravalha, não prejudicando parâmetros de desempenho, rendimento de carcaça e cortes e qualidade de carne.

Referências

- Almeida, E. A.; de Souza, L. F. A.; Sant'Anna, A. C.; Bahiense, R. N.; Macari, M. and Furlan, R. L. 2017. Poultry rearing on perforated plastic floors and the effect on air quality, growth performance, and carcass injuries - Experiment 1: Thermal comfort. *Poultry Science* 96:3155-3162. <https://doi.org/10.3382/ps/pex131>
- Almeida, E. A.; Sant'Anna, A. C.; Crowe, T. G.; Macari, M. and Furlan, R. L. 2018. Poultry rearing on perforated plastic floors and the effect on air quality, growth performance, and carcass injuries—Experiment 2: Heat stress situation. *Poultry Science* 97:1954-1960. <https://doi.org/10.3382/ps/pey048>
- Akpobome, G. O. and Fanguy, R. C. 1992. Evaluation of cage floor systems for production of commercial broilers. *Poultry Science* 71:274-280. <https://doi.org/10.3382/ps.0710274>
- Avçılar, Ö. V.; Yalçın, S.; Onbaşlar, E. E. and Ramay, M. S. 2019. Comparison of slaughter yields and some meat quality parameters in broilers reared on sepiolite-supplemented wood shavings and rice hulls. *Poultry Science* 98:1678-1683. <https://doi.org/10.3382/ps/pey536>
- Avidov, R.; Varma, V. S.; Saadi, I.; Hanan, A.; Lublin, A.; Saldinger, S. S.; Chen, Y. and Laor, Y. 2021. Factors influencing the persistence of salmonella infantis in broiler litter during composting and stabilization processes and following soil incorporation. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5:645721. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.645721>
- Bastarrachea, L. J.; Denis-Rohr, A. and Goddard, J. M. 2015. Antimicrobial food equipment coatings: Applications and challenges. *Annual review of food science and technology* 6:97-118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015453>
- Behnke, E. L.; Hofacre, C. L. and Berghaus, R. D. 2013. Estimation of the prevalence of *Salmonella* species on the slatted area compared to the scratch area of broiler breeder chicken houses. *Avian Diseases* 57:634-639. <https://doi.org/10.1637/10472-122012-Reg.1>

Brito, D. A. P.; Brito, D. R. B.; Gomes, A. M. N.; Cunha, A. D. S.; Silva Filho, U. A. e Pinheiro, A. A. 2016. Desempenho produtivo e rendimento de carcaça de frangos criados em diferentes materiais de cama aviária. *Ciência Animal Brasileira* 17:192-197. <https://doi.org/10.1590/1089-6891v17i220736>

Choudhury, M.; Bindra, H. S.; Singh, K.; Singh, A. K. and Nayak, R. 2022. Antimicrobial polymeric composites in consumer goods and healthcare sector: A healthier way to prevent infection. *Polymers for Advanced Technologies* 33:1997-2024. <https://doi.org/10.1002/pat.5660>

Conway, D. P. and McKenzie, M. E. 2007. *Poultry coccidiosis: diagnostic and testing procedures*. John Wiley & Sons. 3rded.

Çavuşoğlu, E.; Petek, M.; Abdourhamane, I. M.; Akkoc, A. and Topal, E. 2018. Effects of different floor housing systems on the welfare of fast-growing broilers with an extended fattening period. *Archives Animal Breeding* 61:9-16. <https://doi.org/10.5194/aab-61-9-2018>

Dalle Zotte, A.; Tasoniero, G.; Puolanne, E.; Remignon, H.; Cecchinato, M.; Catelli, E., and Cullere, M. 2017. Effect of "wooden breast" appearance on poultry meat quality, histological traits, and lesions characterization. *Czech Journal of Animal Science* 62(2): 51-57. <https://dx.doi.org/10.17221/54/2016-CJAS>

Durmus, M.; Kurşun, K.; Açık, İ. P.; Tufan, M.; Kutay, H.; Benli, H.; Baylan, M and Kutlu, H. R. 2023. Effect of different litter materials on growth performance, the gait score and footpad dermatitis, carcass parameters, meat quality, and microbial load of litter in broiler chickens. *Poultry Science* 102(7):102763. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102763>

El-Maaty, H. A.; Sherif, S.; Taha, A. E.; Al-Otaibi, A. M.; Othman, S. I.; Allam, A. A. and Mahrose, K. 2023. Effects of housing systems and feed additive on growth, carcass traits, liver function, oxidative status, thyroid function, and immune parameters of broilers. *Poultry Science* 102(12):103121. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103121>

Gazoni, F. L.; Adorno, F. C.; Matte, F.; Alves, A. J.; Campagnoni, I. D. P.; Urbano, T.; Zampar, A.; Boiago, M. M and da Silva, A. S. 2020. Correlation between intestinal

health and coccidiosis prevalence in broilers in Brazilian Agroindustries. *Parasitology International* 76:102027. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2019.102027>

Hamm, R. 1961. Biochemistry of meat hydration. *Advances in food research* 10:355-463. [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60141-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60141-X)

Hammemi, C.; Askri, A.; Létourneau-Montminy, M. P. and Alnahhas, N. 2024. Current state of breast meat quality in standard-yielding broiler strains. *Journal of Applied Poultry Research* 33(1): 100383. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2023.100383>

Hashimoto, S.; Yamazaki, K.; Obi, T. and Takase, K. 2013. Relationship between severity of footpad dermatitis and carcass performance in broiler chickens. *Journal of Veterinary Medical Science* 75:1547-1549. <https://doi.org/10.1292/jvms.13-0031>

He, S.; Lin, J.; Jin, Q.; Ma, X.; Liu, Z.; Chen, H.; Ma, J.; Zhang, H.; Descovich, K.; Phillips, C. J. C.; Hartcher, K. and Wu, Z. 2022. The Relationship between Animal Welfare and Farm Profitability in Cage and Free-Range Housing Systems for Laying Hens in China. *Animals* 12:2090. <https://doi.org/10.3390/ani12162090>

Heerkens, J. L.; Delezie, E.; Kempen, I.; Zoons, J.; Ampe, B.; Rodenburg, T. B. and Tuytens, F. A. 2015. Specific characteristics of the aviary housing system affect plumage condition, mortality and production in laying hens. *Poultry Science* 94:2008-2017. <https://doi.org/10.3382/ps/pev187>

Heitmann, S.; Stracke, J.; Adler, C.; Ahmed, M. F.; Schulz, J.; Büscher, W.; Kemper, N. and Spindler, B. 2020. Effects of a slatted floor on bacteria and physical parameters in litter in broiler houses. *Veterinary and Animal Science* 9:100115. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2020.100115>

Honikel, K. O. 1987. Influence of chilling on meat quality attributes of fast glycolysing pork muscles. In *Evaluation and Control of Meat Quality in Pigs: A Seminar in the CEC Agricultural Research Programme, held in Dublin, Ireland, 21-22 November 1985* (pp. 273-283). Springer Netherlands.

Hossain, M. E. and Akter, N. 2022. Further insights into the prevention of pulmonary hypertension syndrome (ascites) in broiler: a 65-year review. *World's Poultry Science Journal* 78(3): 641-688. <https://doi.org/10.1080/00439339.2022.2090305>

- Jenkins, M. C.; Parker, C. C.; O'Brien, C. N. and Ritter, D. 2019. Viable *Eimeria* oocysts in poultry house litter at the time of chick placement. *Poultry Science* 98:3176-3180. <https://doi.org/10.3382/ps/pez147>
- Johnson, J. and Reid, W. M. 1970. Anticoccidial drugs: lesion scoring techniques in battery and floor-pen experiments with chickens. *Experimental Parasitology* 28:30-36. [https://doi.org/10.1016/0014-4894\(70\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0014-4894(70)90063-9)
- Jordan, A.B; Blake, D.; Beard, J.; Beharry, A.; Serrette, L.; Soleyn, A.; Sookhoo, J.; Blake, L.; Brown, G. and Oura, C. 2018. Molecular identification of *Eimeria* species in broiler chickens in Trinidad, West Indies. *Veterinary Sciences* 5:12. <https://doi.org/10.3390/vetsci5010012>
- Kaya, M.; Karaarslan, S.; Oral Toplu H. D.; Fidan, E. D.; Türkyilmaz, M. K. and NAzligül, A. 2024. Growth performance, carcass, and meat quality traits in broiler chickens reared on plastic-grid flooring, wood shavings, and zeolite-supplemented wood shavings. *Tropical Animal Health and Production* 56(2):66. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-03915-1>
- Kempf, F.; Menanteau, P.; Rychlik, I.; Kubasová, T.; Trotureau, J.; Virlogeux-Payant, I.; Schaeffer, S.; Schouler, C.; Drumo, R.; Guitton, E. and Velge, P. 2020. Gut microbiota composition before infection determines the *Salmonella* super-and low-shedder phenotypes in chicken. *Microbial Biotechnology* 13:1611-1630. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13621>
- Khan, K.; Kaya, M.; Fidan, E. D. and Kilimci, F. S. 2023. Impact of litter on femur and tibial morphology, bone biomechanics, and leg health parameters in broiler chickens. *Animal Bioscience* 36(9):1393. <https://doi.org/10.5713/ab.22.0335>
- Koppen, W.P. 1948. *Climatologia, com un estudio de los climas de la tierra*. México: Fondo de Cultura Económica, 478p.
- Kuttappan, V. A.; Hargis, B. M. and Owens, C. M. 2016. White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review. *Poultry Science* 95:2724-2733. <https://doi.org/10.3382/ps/pew216>

Leung, H. 2018. The effects of a nucleotide rich yeast supplement on growth performance, gastrointestinal ecology and immune system in broiler chickens challenged with *Eimeria* (Doctoral dissertation, University of Guelph).

Li, H.; Wen, X.; Alphin, R.; Zhu, Z. and Zhou, Z. 2017. Effects of two different broiler flooring systems on production performances, welfare, and environment under commercial production conditions. *Poultry Science*, 96(5), 1108-1119. <https://doi.org/10.3382/ps/pew440>

Macari, M. e Maiorka, A. 2017. Fisiologia das aves comerciais. Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão, Jaboticabal.

Madlala, T.; Okpeku, M. and Adeleke, M. A. 2021. Understanding the interactions between *Eimeria* infection and gut microbiota, towards the control of chicken coccidiosis: a review. *Parasite*, 28. <https://doi.org/10.1051/parasite/2021047>

Marchewka, J.; Sztandarski, P.; Solka, M.; Louton, H.; Rath, K.; Vogt, L.; Rauch, E.; Ruijter, D.; Jong, I.C. and Horbańczuk, J. O. 2022. Linking key husbandry factors to the intrinsic quality of broiler meat. *Poultry Science*, 102384. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102384>

Martrenchar, A.; Boilletot, E.; Huonnic, D. and Pol, F. 2002. Risk factors for foot-pad dermatitis in chicken and turkey broilers in France. *Preventive Veterinary Medicine* 52:213-226. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(01\)00259-8](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(01)00259-8)

Mudalal, S.; Babini, E.; Cavani, C. and Petracci, M. 2014. Quantity and functionality of protein fractions in chicken breast fillets affected by white striping. *Poultry science*, 93:2108-2116. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-03911>

Mudalal, S.; Lorenzi, M.; Soglia, F.; Cavani, C. and Petracci, M. 2015. Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. *Animal* 9:28-734. <https://doi.org/10.1017/S175173111400295X>

Nelder, J. A. and Wedderburn, R. W. 1972. Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)* 135:370-384. <https://doi.org/10.2307/2344614>

- Omerović, N.; Djisalov, M.; Živojević, K.; Mladenović, M.; Vunduk, J.; Milenković, I.; Knežević, N. Z.; Gadjanski, I. and Vidić, J. 2021. Antimicrobial nanoparticles and biodegradable polymer composites for active food packaging applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 20:2428-2454. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12727>
- Özbek, M.; Petek, M. and Ardıçlı, S. 2020. Physical quality characteristics of breast and leg meat of slow-and fast-growing broilers raised in different housing systems. *Archives Animal Breeding* 63:337-344. <https://doi.org/10.5194/aab-63-337-2020>
- Raghupathi, K. R.; Koodali, R. T. and Manna, A. C. 2011. Size-dependent bacterial growth inhibition and mechanism of antibacterial activity of zinc oxide nanoparticles. *Langmuir* 27(7): 4020-4028. <https://doi.org/10.1021/la104825u>
- Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T.; Hannas, M.I.; Donzele, J.L.; Sakomura, N.K.; Perazzo, F.G.; Saraiva, A.; Teixeira, M.L.; Rodrigues, P.B.; Oliveira, R.F.; Barreto, S.L.T. e Brito, C.O. 2017. *Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais* (488 p.). Departamento de Zootecnia-UFV, Viçosa, MG, BR.
- Sams, A. R.; Janky, D. M. and Woodward, S. A. 1990. Comparison of two shearing methods for objective tenderness evaluation and two sampling times for physical-characteristic analyses of early-harvested broiler breast meat. *Poultry Science* 69:348-353. <https://doi.org/10.3382/ps.0690348>
- Shields, S. and Greger, M. 2013. Animal welfare and food safety aspects of confining broiler chickens to cages. *Animals* 3:386-400. <https://doi.org/10.3390/ani3020386>
- Sihvo, H. K.; Lindén, J.; Airas, N.; Immonen, K.; Valaja, J. and Puolanne, E. 2017. Wooden breast myodegeneration of pectoralis major muscle over the growth period in broilers. *Veterinary Pathology* 54:119-128. <https://doi.org/10.1177/0300985816658099>
- Silva, N.; Junqueira, V. C. A.; Silveira, N. F. A.; Taniwaki, M. H.; Gomes, R. A. R. Okaazaki, M.M. 2017. *Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água*. Ed.Blucher. 5, 560p.

Singh, P.; Ali, S. W. and Kale, R. D. 2023. Antimicrobial Nanomaterials as Advanced Coatings for Self-Sanitizing of Textile Clothing and Personal Protective Equipment. *ACS Omega* 8(9):8159-8171. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06343>

Soliman, E. S. and Hassan, R. A. 2020. Influence of housing floor on air quality, growth traits, and immunity in broiler chicken farms. *Advances in Animal and Veterinary Sciences* 8:997-1008. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2020/8.9.997.1008>

Tasoniero, G.; Cullere, M.; Cecchinato, M.; Puolanne, E. and Dalle Zotte, A. 2016. Technological quality, mineral profile, and sensory attributes of broiler chicken breasts affected by White Striping and Wooden Breast myopathies. *Poultry Science* 95(11): 2707-2714. <https://doi.org/10.3382/ps/pew215>

Toledo, T. D. S. D.; Pich, C. S.; Roll, A. A. P.; Dai Prá, M. A.; Leivas Leite, F.; Goncalves Xavier, E. and Roll, V. F. B. 2019. The effect of litter materials on broiler performance: a systematic review and meta-analysis. *British Poultry Science* 60:605-616. <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1639143>

Van Laack, R. L. J. M.; Liu, C. H.; Smith, M. O. and Loveday, H. D. 2000. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poultry Science* 79:1057-1061. <https://doi.org/10.1093/ps/79.7.1057>

Voss-Rech, D.; Kramer, B.; Silva, V. S.; Rebelatto, R.; Abreu, P. G.; Coldebella, A. and Vaz, C. S. L. 2019. Longitudinal study reveals persistent environmental *Salmonella* Heidelberg in Brazilian broiler farms. *Veterinary Microbiology* 233:118-123. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2019.04.004>

Wang, L. D.; Zhang, Y.; Kong, L. L.; Wang, Z. X.; Hao, B. A. I.; Jiang, Y.; Bi, Y.; Chang, G. and Chen, G. H. 2021. Effects of rearing system (floor vs. cage) and sex on performance, meat quality and enteric microorganism of yellow feather broilers. *Journal of Integrative Agriculture* 20:1907-1920. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63420-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63420-7)

Yusof, N. A. A.; Zain, N. M. and Pauzi, N. 2019. Synthesis of ZnO nanoparticles with chitosan as stabilizing agent and their antibacterial properties against Gram-positive and Gram-negative bacteria. *International journal of biological macromolecules* 124:1132-1136. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.228>

CAPÍTULO 4
CARACTERIZAÇÃO E POTENCIAL ENERGÉTICO DE DIFERENTES
MATERIAIS DE CAMA DE FRANGO
CHARACTERIZATION AND ENERGY POTENTIAL OF BROILER MANURE
REARED UNDER DIFFERENT FLOORING MATERIALS

Projeto aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA)/UFGD

Nº de protocolo: 01/2021.

Artigo publicado na Revista *Sustainability*

Qualis A2 (2020), fator de impacto – JCR 3,9 (2022).

Przybulinski, B.B.; Garcia, R.G.; de Castro Burbarelli, M.F.; Serpa, F.C.; de Castilho Heiss, V.A.R.; Orrico, A.C.A.; Komiyama, C.M.; Caldara, F.R.; de Oliveira, J.D.; Leite, B.K.V.; Nääs, I.A. Characterization and Energy Potential of Broiler Manure Reared under Different Flooring Materials. *Sustainability* 2023, 15, 12896. <https://doi.org/10.3390/su151712896>

Characterization and Energy Potential of Broiler Manure Reared under Different Flooring Materials

Bruna Barreto Przybulinski ¹, Rodrigo Garófallo Garcia ^{2*}, Maria Fernanda de Castro Burbarelli³, Felipe Cardoso Serpa⁴, Vivian Aparecida Rios de Castilho Heiss⁵, Ana Carolina Amorim Orrico⁶, Claudia Marie Komiyama⁷, Fabiana Ribeiro Caldara⁸, Juliana Dias de Oliveira⁹, Brenda Kelly Viana Leite¹⁰, and Irenilza de Alencar Nääs¹¹

¹ Programa de Pós Graduação em Zootecnia - UFGD; brunabarreto88@gmail.com

² Programa de Pós Graduação em Zootecnia - UFGD; rodrigogarcia@ufgd.edu.br

³ Programa de Pós Graduação em Zootecnia - UFGD; fariakita@gmail.com

⁴ Programa de Pós Graduação em Zootecnia - UFGD; felipe.c.serpa@gmail.com

⁵ Programa de Pós Graduação em Zootecnia - UFGD; viviancastilho@live.com

⁶ Programa de Pós Graduação em Zootecnia - UFGD; anaorrico@ufgd.edu.br

⁷ Programa de Pós Graduação em Zootecnia - UFGD;

claudiakomiyama@ufgd.edu.br

⁸ Programa de Pós Graduação em Zootecnia - UFGD; fabianacaldara@ufgd.edu.br

⁹ Programa de Pós Graduação em Zootecnia - UFGD;

juliana.dias.2016@gmail.com

¹⁰ Programa de Pós Graduação em Zootecnia - UFGD;

brendavianaleite@gmail.com

¹¹ Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção;

irenilza.naas@docente.unip.br

* Correspondence: rodrigo.garcia@ufgd.edu.br

Abstract: Broiler deep litter is composed of cellulose, manure, feathers, and feed, and after reuse through several flocks, may be used as a fertilizer. Alternative litter materials such as plastic flooring have been researched but little is known about the characteristics of the waste produced. We analyzed the properties of broiler manure from different flooring systems and assessed its potential for biodigestion. Broiler chicks (1500 one-day-old) were reared using five flooring materials: wood shavings (WS); plastic floor (PP); 50% shavings + 50% plastic floor (PP + WS); plastic floor with antimicrobial additive (PPA); and 50% shavings + 50% plastic floor with an antimicrobial additive (PPA + WS). Waste collection was done at 14, 28, and 42 days of growth. The total residue (kg) produced was quantified on day 42. The total solids (TS), volatile solids (VS), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), nitrogen (N), and pH were analyzed at 14, 28, and 42 days of growth, using the residue coefficient (RC) on the 42nd day. The contents of ST, SV, NDF, ADF, C, and N were determined for anaerobic digestion. The concentrations of O₂, CO₂, and CH₄ produced by anaerobic digestion were analyzed. The flooring material did not affect the volatile solids' contents. The lowest NDF and ADF were found in plastic floor residues. The pH of the manure linearly increased over time as the birds grew. The presence of wood shavings in the manure was decisive for the production of biogas. The treatments with the plastic floor without shavings obtained the highest N content with less residue. Plastic flooring with wood shaving is not recommended as it increases waste generation. The use of plastic flooring reduced the amounts of waste generated and promote a greater yield of biogas with the anaerobic digestion of excreta.

Keywords: antimicrobials; gas emission; plastic floor; residue from broiler production; sustainable production

1. Introduction

Brazil's broiler production is the world's largest exporter of chicken meat and the third largest producer [1]. With the increase in flocks, there is also the need to decide the correct destination for waste from the poultry farming system. Broiler deep litter consists of a substrate composed of cellulose (usually wood shavings and rice husks), excreta, feathers, and feed, reused throughout several flocks. It is used as a fertilizer but can damage the environment if not treated adequately [2]. In some areas of Brazil, poultry litter is an alternative to an energy matrix through its biogas production. However, it has limitations due to the variation in the materials used as deep litter [3].

The anaerobic digestion process in batch biodigesters is the most suitable treatment for fibrous residues and those with contaminants, and when the dry type (minimum of 30% dry matter) depends on the inoculum used to facilitate and optimize the process, resulting in a constant production of biogas [4]. The batch type fits this production characteristic as poultry waste is not dealt with daily but per flock. For anaerobic digestion to be efficient, factors such as the substrate and co-substrate composition and quality, temperature, pH, the amount of organic load, and the microbial dynamics must be optimized to obtain better process results [5].

Biomass of animal origin does not have its energy potential used in the practice of waste application as fertilizers. The harm caused by this practice has been the subject of research due to possible pathogens and medication residues, such as antimicrobials, in soils [6,7]. Poultry manure has a high potential, with a biogas production of 130–270 N L/kg of substrate, a methane production of 70–140 N L/kg of substrate, and a methane yield of 200–360 N L/kg of dry organic matter, and is always superior when compared to the performance of cattle and pig manure [8].

However, the materials commonly used as bedding for poultry have lignin in their composition and are less susceptible to microbiological degradation [9], thus interfering with biogas production. Despite their complex structure and challenging degradation, wood shavings help with methane production. Due to the high content of ammonia contained in the excreta of the birds, there is an inhibition of the micro-organisms desirable for biodigestion, unbalancing the C/N ratio, and meaning that a stable and efficient process is not obtained since each phase of the anaerobic digestion process has a specific need according to the degradation stage [5,10].

The total and volatile solid contents of the substrates are essential to determine the biogas and methane yields during anaerobic biodegradation. While the total solids represent the substrate dilution and its consequent organic load, the volatile solids are related to the total organic matter available to be

converted into biogas. Some studies relate the interaction between these two factors and the improvement in methane generation, as studied by [11], who demonstrated a positive effect between the reduction of TS and VS concentrations in substrates being digested, and a higher efficiency in methane production.

In this sense, raising chickens on alternative bedding materials such as plastic flooring may change the characteristics of the manure compared to those present when wood shavings are used as the litter material. Nanotechnology can be added next to the plastic flooring, which aims to produce materials with specific characteristics through the arrangement of particles on a nanometric scale [12]. Besides being a substitute for shavings, this type of plastic floor also brings antibacterial properties to chicken litter in its composition, favoring the control of micro-organisms within poultry facilities [13].

The present study aimed to characterize and quantify energy production potential through the biodigestion of broiler manure (pure and with wood shavings) using different arrays of flooring and litter.

2. Materials and Methods

This study was conducted in experimental housing in Dourados, Mato Grosso do Sul, Brazil (latitude 22°13'01.800" south, longitude 54°48'02.300" west, and 448 m altitude). The house had 4 m² boxes equipped with pendular drinkers, tubular feeders, double curtains, and evaporative plates and nebulizers to control the internal temperature. In the first three days of the experiment, shredded paper was used to facilitate the access of the chicks to the feed, and was removed after this period. A protection circle was used, reducing the area for the birds for up to ten days, and infrared lamps (250 W) were used for heating in the initial rearing phase (from 1 to 15 days old). The animal-rearing phase lasted 42 days, and the experiment was carried out during the winter.

A total of 1500 one-day-old male broiler chicks of the Ross 408® strain were used, distributed in a completely randomized design across the five treatments: wood shavings (WS); plastic floor (PP); 50% plastic floor + 50% wood shavings (PP + WS); plastic floor with a nanotechnology antimicrobial additive (MpZn_1300, TSNano, Florianopolis, Brazil) (PPA); and 50% plastic floor with a nanotechnology antimicrobial additive (MpZn_1300, TSNano, Florianopolis, Brazil) + 50% wood shavings (PPA + WS), shown in Figure 1. We used six repetitions, totaling 30 boxes, with 50 birds in each. According to the production phase, the experimental diet was provided *ad libitum*, based on corn and soybean meal, meeting the nutritional requirements proposed by [14]. All birds were reared using the flock density of 12.3 birds/m².



Figure 1. Pictures of the treatments (WS, PP, PP + WS, PPA, and PPA + WS) used in the experiment.

2.1. Bedding material

The high-density polyethylene (HDPE) non-commercial plastic floor with wavelengths of ultraviolet light (UV) protection was designed for assembly inside the experimental boxes, with insertable plates measuring 100 x 60 cm and perforations measuring 12 x 12 mm for the passage of excreta. The plates were suspended through profiles 20 cm from the floor of the aviary. The antimicrobial product (MpZn_1300, TSNano, Florianopolis, Brazil) was injected during manufacturing in the treatments that used the antimicrobial addition. The total area of the boxes was 2.90 x 1.40 m, and in the 50% of wood shavings + 50% plastic floor treatment, the floor corresponded to a longitudinal strip of 2.90 x 0.70 m, and the shavings completed the sides, totaling 2.90 x 0.70 of the area with wood shavings.

The material was turned over weekly in the treatments with wood shavings (total or partial). During the experimental period, the presented a decrease in height since there was no material replacement.

2.2. Material characterization, collection, and analysis

Waste collections were performed at 14, 28, and 42 days of production. An opening was made on the plastic floor to scrape the excreta below the floor (Figure 2). Three collection points were carried out in the treatments with wood shavings (total or partial), and the sample was homogenized. On the 42nd day, the birds were weighed, and the total residue was collected from the boxes to quantify the residue, including the material that was adhered to the plastic floor (kg).



Figure 2. Pictures of the data collected during the experiment.

The analysis of total solids (TS) and volatile solids (VS) contents was done according to the methodology described by [15]. The analyzes of Fiber in Neutral Detergent (NDF), Fiber in Acid Detergent (ADF), and total nitrogen (crude protein) were measured by the Kjeldahl method, described by [16]. The pH analysis was performed following Normative Instruction 17/2007 [17].

The residue coefficient (CR) was calculated by the ratio between the amount of residues generated in each treatment (according to the type of floor or shaving bed) and the live weight (LW) of the chickens produced at the end of the 42 days of rearing, according to adapted from [18-19] by Santos [20] (Eq. 1)

$$CR = \text{broiler litter (TS, kg)} / \text{mass of broiler generated (LW, kg)} \quad (1)$$

2.3. Biodigestion analyzes

The initial TS content was set at 4% for the formulation of substrates for biodigesters. Previously, swine manure inoculum was prepared to accelerate the degradation of the substrates. The analyzes for the characterization of the beds were considered and used to prepare loads of biodigesters that were diluted with water and homogenized in an industrial blender, determining the contents of TS, VS, NDF, ADF, C, and N.

Batch biodigesters with a capacity of 1.5 L each were used, where the substrates were placed for fermentation (1,3 liters per experimental unit), 15 per litter collection, totaling 45 biodigesters made of PVC, as described by [21]. The gas analysis was performed with a gas analyzer (GA - 21 Plus analyzer, Madur Electronics, Vienna, Austria) to determine the concentrations of O₂, CO₂, and CH₄.

The substrates were prepared with water, inoculum, and fresh residue. After being made, the digesters were completed with this mixture, and the biogas productions were followed throughout the time that the substrates remained producing biogas. Since the digesters had the first biogas production the gas analysis was performed, which occurred at different times according to the experimental treatment. The biogas productions were followed throughout the time that the substrates remained producing biogas, which was somewhere between 120 and 150 days.

The volume of biogas produced daily was determined by measuring the vertical displacement of the gasometers and multiplying the recorded data by the area of its internal cross section (0.00785 m²). Temperature, biogas volumes, and environmental measurements were recorded throughout the process. The volume of biogas produced was corrected for 1 atm and 0 °C conditions using a combination of Boyle's and Gay-Lussac's laws, recorded in liters (L_N), as described by [22]. The reductions of TS, VS, and fibrous constituents were calculated considering the amounts of these constituents at the fermentation process's beginning (influent) and the end (effluent).

2.4. Statistical analysis

Data were evaluated for normality of residuals using the Shapiro-Wilk test and homogeneity of variances using the Levene test. Thus, an analysis of variance was performed using PROC MIXED from SAS [23]. The statistical models included the type of floor as a fixed factor and the animal effect, nested within each treatment, included as a random factor in all models (command RANDOM). When significant, Tukey's test was performed to compare the means of treatments, adopting 95% significance.

The data measured over the weeks of birds age were submitted to analysis of variance through the MIXED procedure of SAS (SAS 9.3) [23] with the use of the REPEATED command in which the evaluation days were considered repeated measures in time. The statistical models included the type of floor as a fixed factor and the animal effect, nested within each treatment, included as a random factor in all models (command RANDOM). When the effects of interactions between types of floor and time were significant, these were unfolded and evaluated through regressions using orthogonal polynomials. The significance level for all analyzes performed was 5%.

3. Results and Discussion

As the birds' rearing time increased, there was an increase in pH in all evaluated treatments, with an increasing linear effect ($p < 0.0001$) (Table 1).

Table 1. Litter characterization of different broiler litter materials: wood shavings (WS); plastic floor (PP); 50% plastic floor + 50% wood shavings (PP + WS); plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive (PPA); 50% plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive +50% wood shavings (PPA + WS), and the effect and regression equations found.

Variables	Day of growth	Treatments						EPM	P-value		
		WS	PP	PP+WS	PPA	PPA+WS	Ave		Litter	Rearing time	LxT
pH	14	6.80	6.84	6.50	7.08	6.52	6.75	0.111	0.2666	<0.0001	0.1139
	28	7.93	6.99	7.60	7.19	7.21	7.38				
	42	8.42	8.41	8.13	8.10	8.32	8.28				
	Ave	7.71	7.41	7.41	7.45	7.35	7.46				
TS (%)	14	68.21	63.67	58.33	64.25	61.87	63.26	1.540	0.0029	0.0057	0.0125
	28	56.74	42.44	63.85	39.47	67.61	54.02				
	42	63.79	57.22	65.88	52.16	62.33	60.27				
	Ave	62.91a	54.44ab	62.68a	51.96b	63.93a	59.18				
VS (% of TS)	14	93.90	87.16	91.69	86.30	91.12	90.05	0.458	<0.0001	0.0033	0.0475
	28	90.73	86.97	93.21	86.54	93.44	90.18				
	42	89.46	85.54	88.99	87.50	88.82	88.06				
	Ave	91.36a	86.55b	91.30a	86.80b	91.12a	89.42				
NDF (% of TS)	14	55.42	22.12	51.78	25.99	45.70	40.2	2.012	<0.0001	0.1461	0.1109
	28	58.91	24.51	52.19	25.74	49.79	42.25				
	42	44.15	25.17	47.53	29.26	46.79	38.582				
	Ave	52.82a	23.93b	50.50a	27.00b	47.47a	40.34				
ADF (% of TS)	14	39.32	6.10	30.58	7.01	30.58	22.72	1.996	<0.0001	0.0726	0.1390
	28	37.66	8.27	38.09	7.79	31.95	24.75				
	42	27.23	6.37	28.40	7.33	25.95	19.06				

	Ave	34.74a	6.91b	32.36a	7.38b	29.49a	22.17				
N (% of TS)	14	2.13	4.42	2.98	5.46	2.59	3.52				
	28	2.59	4.34	4.08	4.40	4.50	3.98				
	42	2.42	3.47	2.21	3.33	2.63	2.81	0.154	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Ave	2.38	4.07	3.09	4.40	3.24	3.43				

Variable	Effect	P-value	Equation	R ²
pH	lin	<0.0001	$y=0.05464x+6.14533$	0.7078
ST (PP)	quad	0.0028	$y=0.09186x^2-5.37440x+120.90667$	0.8131
SV (PPA+WS)	quad	0.0035	$y=-0.01769x^2+0.90810x+81.880$	0.8273
SV (WS)	lin	0.0003	$y=-0.15833x+95.79889$	0.8567
N (PPA)	lin	0.0004	$y=-0.07583x+6.33889$	0.8940
N (PPA+WS)	quad	0.0003	$y=-0.00966x^2+0.54214x-3.28333$	0.9083
N (PP)	quad	0.0213	$y=-0.00202x^2+0.07893x+3.52667$	0.8948
N (PP+WS)	quad	<0.0001	$y=-0.00759x^2+0.39750x-1.27333$	0.9504

Total solids (TS); volatile solids (VS); Fiber in neutral detergent (NDF); Fiber in acid detergent (ADF); and Nitrogen (N). Bird standard error (EPM); LxT Interaction effect Litter type x Time.
 *Mean values in the same row followed by different lowercase letters differ significantly ($P<0.05$).

The progressive increase in pH is a common occurrence during animal rearing. It has a determining effect on a higher emission of NH_3 from chicken litter or excreta [24]. If associated with increased humidity and temperature, it may compromise the loss of N from the deep litter and the broiler-rearing environment. The critical humidity for ammonia volatilization from poultry litter was reported between 38.3 and 51.1% by [25], in the temperature range between 18.3 and 40.6°C.

We found an interaction for TS between time and bedding materials ($P=0.0125$), showing a positive quadratic behavior in the PP treatment ($P=0.0028$). However, the R^2 in the other treatments was not significant. There was an interaction found between the treatments and the time of raising the birds for the variable VS ($P=0.0475$) with a negative quadratic effect in the treatment PPA+WS ($P=0.0035$) and a linear negative in the treatment WS ($P=0.003$). In the remaining treatments, the equations were not significant. This condition of decreasing VS deposition in the composition of the mass of waste generated is possibly associated with a higher proportion of excreta concerning the mass of wood shavings with the increase in the age of the broilers. Although SV contents are higher in shavings than in excreta, the components of this fraction present a high degree of complexity due to the presence of lignin and fibrous constituents, as reported by [9]. Thus, NDF and ADF contents were influenced only by litter materials ($P<0.0001$).

The NDF and ADF results had a significant difference only for the bedding materials ($P<0.0001$), with the presence of wood shavings (total or partial) determining the results, thus showing higher levels of NDF and ADF. There was an interaction of time of rearing the birds and litter materials used for nitrogen content, with decreasing linear effect for PPA ($P=0.0004$) and a negative quadratic effect for PPA+WS, PP, and PP+WS, not obtaining a significant equation for the treatment WS.

The bedding materials did not affect volatile solids content ($P=0.2773$), significantly affecting the other evaluated variables (Table 2). The production of live weight (kg)/box was higher in the treatments that had wood shavings (total or partial) in their composition. The residue coefficient (litter/live weight) was higher in the PPA+WS treatment when compared to the WS, PP, and PPA treatments.

Table 2. Contents of total solids (TS), volatile solids (VS), the fiber in neutral detergent (NDF), the fiber in acid detergent (ADF), and total nitrogen (N) (crude protein) of residues of different broiler litter materials: wood shavings (WS); plastic floor (PP); 50% plastic floor + 50% wood shavings (PP + WS); plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive (PPA); 50% plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive +50% wood shavings (PPA + WS) at 42nd day.

Variable	Treatment					EPM	P-value
	WS	PP	PP+WS	PPA	PPA+WS		
TS production from litter (kg)	63.27b	37.68c	78.07a	39.79c	91.02a	4.959	<0.0001
Live weight (kg) / box (kg)	104.25a	53.37b	105.59a	60.54b	109.22a	5.479	<0.0001
Residue coefficient (RC) (litter TS (kg)/live weight (kg))	0.61c	0.70bc	0.73ab	0.65bc	0.83a	0.019	0.0002
VS (% of TS)	87.32	91.31	90.87	89.62	92.07	0.728	0.2773
NDF (% of TS)	51.19b	30.90c	63.56a	30.55c	60.10ab	3.349	<0.0001
ADF (% of TS)	33.10b	13.53c	46.50a	12.56c	45.35a	3.467	<0.0001
N (% of TS)	2.10b	3.79a	2.08b	3.34a	2.28b	0.184	<0.0001
N (kg) produced in the box	1.32b	1.42ab	1.63ab	1.33b	2.06a	0.088	0.0187

Bird standard error (EPM); *Mean values in the same row followed by different lowercase letters differ significantly ($P<0.05$).

The behavior of the residues was similar concerning NDF and ADF, with the lowest levels found in plastic floor residues with and without antimicrobials. The highest nitrogen contents were found in plastic floor residues with and without antimicrobials. When we observe the amount of N produced per treatment, a different behavior occurs, with the PPA+WS treatment presenting higher values than the WS and PPA treatments.

Regarding the production of ST, the plastic floor effectively reduced the waste generated while raising the birds (PP conditions) when used in isolation. However, when associated with wood shavings, the waste generated was higher (floor with WS). When we compared the residue coefficient, the best values occurred in the shaving bed (isolated) or PP (also isolated), and the combination of these two was not beneficial for the generation of RC (residual coefficient). Based on the residue data, we can recommend PP (without antimicrobials) since it appears with the lowest RC, thus, reducing residue generation is a desired condition in poultry. At the same time, when subjected to

anaerobic digestion, this residue presents the highest values of biogas production (energy yield).

For reducing organic constituents and biogas production, there was an interaction between rearing time and bedding materials in all variables, with different behaviors (equations in Tables 3 and 4). The different types of floors affected the reductions of solid constituents in this study. Although the antibiotic in the plastic floor was not quantified, it is believed that it was incorporated into the excreta and that, even in small amounts, compromising the digestion of the substrates in the biodigesters. Antibiotics cause instability in the anaerobic digestion process. However, if excessive doses do not occur, the microorganisms involved may adapt and recover [26]. When comparing the reductions in solids in substrates originating from PPA with PPA+WS, which also had the antibiotic (half of the area covered by shavings), greater reductions were found in the litter, as the shavings may have diluted the concentration of antibiotic in the substrate composition.

Table 3. Reduction of biodigestion (Red) of different broiler litter materials over time: wood shavings (WS); plastic floor (PP); 50% plastic floor + 50% wood shavings (PP + WS); plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive (PPA); 50% plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive +50% wood shavings (PPA + WS), and the effect and regression equations found.

Variables	Day of growth	Treatments					Ave	E.P.M.	P-value		
		WS	PP	PP+WS	PPA	PPA+WS			Litter	Rearing time	LxT
Red	TS (%)	14	33.39	33.35	38.95	21.87	52.91	36.09	1.703	<0.0001	<0.0001
		28	40.59	56.44	51.19	27.92	40.76	43.38			
		42	47.47	62.36	54.96	34.13	50.57	49.89			
		Ave	40.48	50.71	48.36	27.97	48.08	43.12			
	VS (%)	14	35.56	37.75	41.29	27.51	58.66	40.15	1.758	<0.0001	<0.0001
		28	46.37	61.76	54.08	31.82	43.70	47.54			
		42	52.23	65.47	61.67	36.91	55.47	54.35			
		Ave	44.72	54.99	52.34	32.08	52.61	47.35			
	NDF (%)	14	23.91	28.42	33.11	29.55	19.83	26.96	1.057	<0.0001	<0.0001
		28	33.61	42.71	39.37	28.77	35.03	35.89			
		42	35.83	45.42	42.33	31.52	39.24	38.87			
		Ave	31.27	38.85	38.27	29.94	31.37	33.94			
	ADF (%)	14	15.36	22.03	26.74	22.40	11.86	19.68	1.128	<0.0001	<0.0001
		28	22.56	38.19	31.08	23.01	23.45	27.66			
		42	33.31	40.13	32.61	26.31	30.3	31.93			
		Ave	22.74	33.45	30.14	23.91	21.87	26.42			

	14	0.77	2.68	1.23	3.31	1.72	1.94				
N (%)	28	2.54	3.18	2.54	2.61	2.66	2.70	0.122	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	42	3.32	3.3	1.48	2.42	1.73	2.45				
	Ave	2.21	3.05	1.75	2.78	2.03	2.36				

Variables	Effect	P-value	Equation	R ²
Red TS.	(PPA)	lin	$y=0.43786x+15.71556$	0.9579
	(PPA+WS)	quad	$y=0.05602x^2-3.22071x+87.02$	0.9809
	(PP)	quad	$y=-0.043378x^2+3.48774x-6.89$	0.9967
	(PP+WS)	quad	$y=-0.0216x^2+1.78119x+18.25$	0.9893
	(WS)	lin	$y=0.50274x+26.41222$	0.9937
Red VS	(PPA.)	lin	$y=0.33571x+22.68333$	0.9239
	(PPA+WS)	quad	$y=0.06816x^2-3.93095x+100.33333$	0.9910
	(PP)	quad	$y=-0.05175x^2+3.8881x-6.6533333$	0.9952
	(PP+WS)	quad	$y=-0.01327x^2+1.47095x+23.29333$	0.9909
	(WS)	quad	$y=-0.01263x^2+1.3025x+19.80333$	0.9870
Red NDF.	(PPA)	quad	$y=0.00902x^2-0.43464x+33.86667$	0.7581
	(PPA+WS)	quad	$y=-0.02804x^2+2.26345x-6.36333$	0.9911
	(PP)	quad	$y=-0.02953x^2+2.26107x+2.55333$	0.9861
	(PP+WS)	lin	$y=0.32964x+29.040$	0.8848
	(WS)	quad	$y=-0.01908x^2+1.49405x+6.470$	0.9544
Red ADF	(PPA)	lin	$y=0.13988x+20.45222$	0.7342
	(PPA+WS)	quad	$y=-0.01208x^2+1.33512x-3.99667$	0.9849
	(PP)	quad	$y=-0.03629x^2+2.67857x-7.890$	0.9792
	(PP+WS)	lin	$y=0.20976x+24.73333$	0.7311
	(WS)	lin	$y=0.53417x+8.25111$	0.9562
N	(PPA)	lin	$y=-0.0304x+3.61949$	0.7446
	(PPA+WS)	quad	$y=-0.00478x^2+0.2681x-1.09667$	0.9797
	(PP)	lin	$y=0.02121x+2.47154$	0.7212

(PP+WS)	quad	0.0002	$y = -0.00604x^2 + 0.3469x - 2.44$	0.9161
(WS)	quad	0.0018	$y = -0.00254x^2 + 0.23345x - 2.00$	0.9898

Total solids (TS); volatile solids (VS); Fiber in Neutral Detergent (NDF); Fiber in Acid Detergent (ADF); and Nitrogen (N). Bird standard error (EPM). Quadratic effect (quad); Linear effect (lin). (Red); *Mean values in the same row followed by different lowercase letters differ significantly ($P < 0.05$).

Table 4. Biogas production over time from different broiler litter materials: wood shavings (WS); plastic floor (PP); 50% plastic floor + 50% wood shavings (PP + WS); plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive (PPA); 50% plastic floor with nanotechnology antimicrobial additive +50% wood shavings (PPA + WS).

Variable	Day of rearing	Bedding material					Ave	EPM.	P-value			
		WS	PP	PP+WS	PPA	PPA+WS			Litter	Rearing time	Lx T	
Methane (%)	14	72.30	63.53	67.44	54.40	70.04	66.14	0.719	<0.0001	<0.0001	<0.0001	
	28	68.24	63.97	69.30	54.33	63.21	63.81					
	42	68.48	68.76	69.09	67.32	68.77	68.48					
	Ave	69.67	65.42	68.61	59.68	67.34	66.14					
Biogas production potential (L/kg TS)	14	150.88	135.49	165.92	85.22	211.75	149.85	14.432	<0.0001	<0.0001	<0.0001	
	28	182.25	310.12	281.46	105.57	174.59	210.79					
	42	249.14	449.43	315.15	121.62	279.52	282.97					
	Ave	194.09	298.34	254.18	104.14	221.95	214.53					
Methane production potential (L/kg TS)	14	108.58	85.74	111.50	48.71	147.88	100.25	10.233	<0.0001	<0.0001	<0.0001	
	28	123.97	198.07	194.66	57.22	110.04	136.79					
	42	170.19	308.69	217.34	81.47	191.83	193.91					
	Ave	134.25	197.50	174.50	62.47	149.92	143.65					
Biogas production potential (L/kg VS)	14	163.59	162.55	183.25	100.21	229.93	167.91	17.212	<0.0001	<0.0001	<0.0001	
	28	201.46	362.45	302.96	124.40	186.47	235.55					
	42	283.69	547.76	349.41	144.24	314.27	327.87					
	Ave	216.24	357.58	278.54	122.95	243.56	243.77					
Methane production potential (L/kg VS)	14	117.62	102.70	123.00	57.03	160.45	112.16	12.160	<0.0001	<0.0001	<0.0001	
	28	136.89	231.32	209.40	67.17	117.31	152.42					
	42	193.67	376.17	240.84	86.51	215.55	224.55					
	Ave	149.39	236.73	191.08	73.57	164.44	163.04					
Variable	Effect	P-value				Equation				R²		
Methane	(PPA)	quad	<0.0001				y=0.04095x²-1.93881x+76.51667				0.9759	
	(PPA+WS)	quad	<0.0001				y=0.03161x²-1.81536x+89.26667				0.9717	

	(PP)	quad	0.0268	$y=0.01109x^2-0.43405x+67.43333$	0.8833
	(PP+WS)	lin	0.0403	$0.05917x+66.95667$	0.4161
	(WS)	quad	0.0008	$y=0.01098x^2-0.75131x+80.67$	0.9562
Biogas production potential (L/kg TS)	(PPA)	lin	0.0008	$y=1.29952x+65.8911$	0.8622
	(PPA+WS)	quad	<0.0001	$y=0.36249x^2-17.87893x+389.1433$	0.9811
	(PP)	quad	0.0328	$y=-0.09009x^2+16.25726x-76.31333$	0.9967
	(PP+WS)	quad	<0.0001	$y=-0.20878x^2+17.02119x-33.31667$	0.9949
	(WS)	quad	0.0315	$y=0.09063x^2-1.56595x+153.18$	0.9688
Methane production potential (L/kg TS)	(PPA)	lin	0.0002	$y=1.16988x+28.85333$	0.8576
	(PPA+WS)	quad	<0.0001	$y=0.30517x^2-15.52x+304.49$	0.9843
	(PP)	lin	<0.0001	$y=7396214x-26.29778$	0.9943
	(PP+WS)	quad	0.0002	$y=-0.15429x^2+12.42036x-33.00$	0.9917
	(WS)	quad	0.0113	$y=0.07868x^2-2.20583x+123.18333$	0.9656
Biogas production potential (L/kg TS)	(PPA)	lin	0.0004	$y=1.5725x+77.9544$	0.8948
	(PPA+WS)	quad	<0.0001	$y=0.43689x^2-21.45357x+44368667$	0.9746
	(PP)	lin	<0.0001	$y=13.7575x-28.59333$	0.9951
	(PP+WS)	quad	0.0005	$y=-0.18685x^2+16.39810x-10.66333$	0.9922
	(WS)	quad	<0.0001	$y=0.11315x^2-2.0475x+169.11$	0.9575
Methane production potential (L/kg VS)	(PPA)	quad	0.0406	$y=0.04898x^2-1.33283x+66.03$	0.9391
	(PPA+WS)	quad	<0.0001	$y=0.36066x^2-18.22929x+344.90667$	0.9792
	(PP)	lin	<0.0001	$y=9.7667x-36.79889$	0.9916
	(PP+WS)	quad	0.0012	$y=-0.14022x^2+12.06095x-18.43333$	0.9878
	(WS)	quad	0.0232	$y=0.09569x^2-2.64274x+135.80333$	0.9532

Total solids (TS); volatile solids (VS); Fiber in neutral detergent (NDF); Fiber in acid detergent (ADF); and Nitrogen (N). Bird standard error (EPM). Quadratic effect (quad); Linear effect (lin); *Mean values in the same row followed by different lowercase letters differ significantly ($P<0.05$).

The most significant reduction in TS and VS (62.36 and 65.47%, respectively, at 42 days) for substrates generated with the excreta produced in the PP is an already foreseen behavior since only the excreta were collected in this environment. As the birds' age, there is also more outstanding waste production and feed remains that could serve as a substrate for microorganisms. Higher VS reductions represent more effective degradation of organic matter, which will result in greater biogas production [27]. The reduction in VS is close to that observed by [28], with a 66.27% reduction when carrying out the biodigestion of laying hen manure.

Regarding the NDF and ADF reductions, lower values were observed at 14 days for the different floors, mainly in WS and PPA+WS, since at the beginning of the broilers, the presence of

wood shavings was greater in proportion to the excreta than in the final period of poultry production, in addition to the complexity of the constitution of shavings, which limits its degradation. Shavings contain around 30% lignin [29], the cell wall component with the slowest degradation, which hinders the action of hydrolytic enzymes secreted by microorganisms to break down this material, even hemicellulose and cellulose, which could reduce efficiency to convert organic matter into biogas [22].

The maximum potential for biogas production (Table 4) at 14 days occurred in substrates formed with PPA + WS residues (211.75 and 229.93 L/biogas/kg of TS and VS, respectively). At 28 and 42 days, the behavior of potential biogas production was different, with the residues from PP being the ones that produced the most biogas, with this production at 24 days being 310.12 and 449.43 L/kg of TS and SV, respectively. At 42 days, the production reached 362.45 and 547.76 L/kg of ST and SV, respectively. During the entire biodigestion period, the lowest biogas production occurred in substrates formed with PPA residues, where its maximum production potential was 121.62 and 144.76 L/biogas/kg of TS and VS, respectively.

Waste from PPA + WS may have shown the greatest potential for biogas production at 14 days compared to 28 days, a different behavior from the other substrates, due to the proportion of broiler-rearing waste in the affluent composition. It is believed that the combination of fibrous material, represented by wood shavings and excreta, may have resulted in a better adjustment of the C:N ratio, thus favoring biogas production.

Possibly due to the presence of wood shavings, the antimicrobials on the floor by nanotechnology affected the PPA + WS in a less impactful way than the PPA alone. When only PPA excreta was used, the biogas production potentials were reduced, reinforcing the beneficial effect of shavings and excreta for biogas generation.

Miah et al. [30] conducted the anaerobic co-digestion of poultry litter with bovine manure. The authors reported that the inclusion of 75% of chicken litter made of wood shavings together with 25% of bovine manure reached the maximum potential for biogas production (480 L biogas/kg) concerning the isolated digestion of bovine manure (400 L biogas/kg), demonstrating that chicken litter has a good potential for biogas production and that in co-digestion it can favor productions, generating higher values with waste digested alone. Substrates formed only with PP excreta at 14 days possibly had a lower biogas production potential than PPA+WS substrates due to the high concentration of N (Table 1) present in the excreta. Nitrogen in the residue is beneficial for microbial growth during digestion. However, the high concentration of this constituent will release large amounts of ammonia, and the surplus of ammonia inside the biodigester decreases biogas production, interrupts methanogenic activity, and inhibits digestion by account of excessive production of volatile fatty acids [31].

When substrates from the PP excreta collected at 28 and 42 days were used, the behavior of biogas production had an inversion of behavior compared to the substrates formed with the

14-day residues since, in these two periods, the biogas production potentials were higher in the PP residues concerning the PPA+ WS residues. This behavior can be explained by the reduction in the nitrogen content of the residues collected in these two periods (Table 1), possibly associated with N volatilization during poultry rearing. In this way, ammonia generation in the biodigester may have been reduced, allowing better substrate fermentation conditions. The low potential for biogas production in the substrates formed with PPA excreta during the three collection periods probably has a direct relationship with antimicrobials on the floor, as previously mentioned, since antimicrobials inhibit microbial activity [32].

The proportions of methane in the biogas were influenced by the bed type, mainly in the material collected at 14 days. This resulted in higher methane production potentials for the substrates prepared with waste collected from the floor with WS and PPA+WS and the lowest concentrations in the PPA Antimicrobials in the excreta from the PPA and the high concentration of nitrogen in the material collected at 14 days interfered with the microbial action, as previously discussed. With the co-digestion of fresh poultry excreta and agricultural waste, Abouelenien et al. [33] observed an increase in methane production ($502 \text{ mL g}^{-1} \text{ SV}$) compared to the isolated digestion of fresh excreta ($493 \text{ mL g}^{-1} \text{ SV}$), as the accumulation of ammonia can cause a slight inhibition of methane production. However, methanogenic bacteria can adapt to the ammonia concentration and return to methane production.

4. Conclusions

The plastic floor proved to be a viable alternative for the production of broiler chickens, allowing lower waste coefficients if used alone. In contrast, its use in combination with wood shavings cannot be recommended because it increases waste generation in poultry production. The plastic floor with antimicrobial interfered negatively with the biogas and methane production potentials. However, the residues from the plastic floor were the ones that presented the best energy yield.

The production of broiler chickens on plastic flooring is recommended to reduce the amounts of waste generated and promote a greater yield of biogas and methane with the anaerobic digestion of excreta, consequently reducing the impact of chicken production on the environment.

Author Contributions: Conceptualization, RGG; FRC; ACAO; CMK; methodology, RGG; FRC; ACAO; CMK; IAN; formal analysis, MFCB; investigation, BBP; VARCH; FCS; JDO; BKVL; resources, RGG; FRC; ACAO; CMK; data curation, BBP; VARCH; FCS; JDO; BKVL; writing—original draft preparation, IAN; MFCB writing—review and editing, IAN; MFCB; visualization, BBP; VARCH; FCS; JDO; BKVL; supervision, RGG; MFCB; project administration, RGG; funding acquisition, RGG; FRC; ACAO; CMK; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: All procedures adopted in the present study were approved by the Ethics Committee on Animal Use (CEUA) of UFGD. (Protocol No. 01/2021).

Data Availability Statement: Data is available upon request to the corresponding author.

Acknowledgments: The authors acknowledge the National Council for Scientific and Technological Development (CNPQ) for the scholarships granted (304806/2022-6 PQ Scholarship and 150249/2023-3 Pos Doctoral Scholarship).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. 2022. Relatório Anual. Available online: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/01/abpa-relatorio-anual-2022.pdf> (accessed on 10 March 2023)
2. Gómez, E. M. P., Domínguez, R. E., López, D. A., Téllez, J. F., Marino, M. D., Almada, N., Gange, J. M., Moyano, E. L. Chicken litter: A waste or a source of chemicals? Fast pyrolysis and hydrothermal conversion as alternatives in the valorisation of poultry waste. *J Anal Appl Pyrol* **2023**, 169, 105796. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4123306>
3. Tumusiime, E., Kirabira, J. B., Musinguzi, W. B. Optimization of substrate mixing ratios for wet anaerobic digestion of selected organic waste streams for productive biogas systems. *Energy Rep* **2022**, 8, 10409–10417. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.08.189>
4. Wedwitschka, H., Gallegos Ibanez, D., Schäfer, F., Jensen, E., Nelles, M. Material characterization and substrate suitability assessment of chicken manure for dry batch anaerobic digestion processes. *Bioengineering* **2020**, 7, 106. <https://doi.org/10.3390/bioengineering7030106>
5. Babaei, A., Shayegan, J., Roshani, A. Anaerobic slurry co-digestion of poultry manure and straw: effect of organic loading and temperature. *J Environ Health Sci Eng* **2013**, 11, 1–6. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-11-15>
6. Kumar, S., Yadav, M., Sehrawat, N., Devi, T., Sharma, A. K., Lodhi, M. M. Assessment of Bacterial diversity in the chicken litter: A potent risk to environmental health. *Res Sq* **2022**, 1–15. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2369431/v1>
7. Maj, I. Significance and Challenges of Poultry Litter and Cattle Manure as Sustainable Fuels: A Review. *Energies* **2022**, 15, 981. <https://doi.org/10.3390/en15238981>
8. Rohstoffe, F. N. *Guia prático do biogás: geração e utilização*. Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha, 2010. Available online: http://www.resol.com.br/cartilhas/giz_-_guia_pratico_do_biogas_final.pdf (accessed on 10 March 2023)
9. Przybulinski, B. B., Garcia, R. G., Burbarelli, M. F. D. C., Komiyama, C. M., Barbosa, D. K., Caldara, F. R., Serpa, F. C., Castilho, V. A. R., Gandra, É. R. D. S. Characterization of different types of broiler bedding including dehydrated grass and their influence on production. *Anim Sci J* **2021**, 92, e13539. <https://doi.org/10.1111/asj.13539>
10. Abouelenien, F.; Namba, Y.; Kosseva, M.R.; Nishio, N.; Nakashimada, Y. Enhancement of Methane Production from Co-Digestion of Chicken Manure with Agricultural Wastes. *Bioresour Technol* **2014**, 159, 80–87, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.050>
11. Lima, J.A.M.; Correa Magalhães Filho, F.J.; Constantino, M.; Formagini, E.L. Techno-Economic and Performance Evaluation of Energy Production by Anaerobic Digestion in Brazil: Bovine, Swine and Poultry Slaughterhouse Effluents. *J. Clean. Prod.* **2020**, 277, doi:10.1016/j.jclepro.2020.123332.
12. Mahmoud, M. T.; Ahmed, H. A.; Al-Din, M. S. K. The Impact of Nanotechnology on Exterior and Interior Finishing Materials in Hospitals. *Int J Mech Eng* **2022**, 7, 12. <https://doi.org/10.56452/2022-12-011>
13. Dias, B. D. P., Ribeiro, E. M. D. C., Gonçalves, R. L., Oliveira, D. S., Ferreira, T. H., Silva, B. D. M. A nanotecnologia no brasil e o desenvolvimento de produtos com atividade antimicrobiana. *Química Nova* **2021**, 44, 1084–1092
14. Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Hannas, M.I., Donzele, J.L., Sakomura, N.K., Perazzo, F.G., Saraiva, A., Teixeira, M.L., Rodrigues, P.B., Oliveira, R.F., Barreto, S.L.T., Brito, C.O. 2017. *Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais*; UFV: Viçosa, Brazil, 2017, pp.488.
15. APHA *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association: Washington, U.S.A., 2017, pp. 23.

16. Detmann, E., Souza, M.A., Valadares Filho, S.C., Queiroz, A.C., Berchielli, T.T., Saliba, E.O.S., Cabral, L.S., Pina, D.S., Ladeira, M.M.; Azevedo, J.A.G. *Métodos para análise de alimentos*, Ciência Animal, 1st ed. I.N.C.T.: Visconde do Rio Branco, Brazil, 2012.
17. Brasil. 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010.
18. Risser, P. *Resíduos agrícolas e florestais: a biomassa como fonte de energia*. 1st ed. Moscou: Ed. Mir, 25-45, 1985.
19. Strehler, A., Sützle, W. Biomass residues. In: HALL DO (Ed.). *Biomass: regenerable energy*. New York, U.S.A.: John Wiley. 180p, 1987.
20. Santos, T.M.B. Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frangos de corte. Master Thesis, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabala, SP, Brazil, 1997.
21. Oliveira, J. D. D., Orrico, A. C. A., Leite, B. K. V., Schwingel, A. W., Orrico Junior, M. A. P., Avila, M. R. D., Machado, J. F., Dias, A. M. D., Macena, I. A., Santos, W. D. Anaerobic co-digestion of swine manure and forage at two harvesting ages. *Cienc Rural* **2021**, *52*, e20200760. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr2020076>
22. Kunz, A.; Steinmetz, R.L.R.; Cestonaro do Amaral, A. Fundamentos Da Digestão Anaeróbia, Purificação Do Biogás, Uso e Tratamento Do Digestato; 1a edição.; Embrapa Suínos e Aves: Concórdia, **2019**; ISBN 9788593823015.
23. SAS Institute. *SAS user's guide: statistics*. Cary, U.S.A.: Sas Institute, SAS Publ. 2014.
24. Brink, M.; Janssens, G.P.J.; Demeyer, P.; Bağcı, Delezie, E. Ammonia Concentrations, Litter Quality, Performance and Some Welfare Parameters of Broilers Kept on Different Bedding Materials. *Br Poult Sci* **2022**, *63*, 768–778, <http://doi.org/10.1080/00071668.2022.2106775>.
25. Miles, D.M.; Rowe, D.E.; Cathcart, T.C. High Litter Moisture Content Suppresses Litter Ammonia Volatilization. *Poult Sci* **2011**, *90*, 1397–1405, <http://doi.org/10.3382/ps.2010-01114>
26. Spirito, C.M.; Daly, S.E.; Werner, J.J.; Angenent, L.T. Redundancy in Anaerobic Digestion Microbiomes during Disturbances by the Antibiotic Monensin. *Appl Environ Microbiol* **2018**, *84*, 1–18, <http://doi.org/10.1128/AEM.02692-17>
27. Dornelas, K.C.; Schneider, R.M.; do Amaral, A.G. Biogas from Poultry Waste—Production and Energy Potential. *Environ Monit Assess* **2017**, *189*, <http://doi.org/10.1007/s10661-017-6054-8>
28. De Farias, R.M.; Orrico Jr., M.A.P.; Orrico, A.C.A.; Garcia, R.G.; Centurion, SR; Fernandes, A.R.M. Anaerobic Biodigestion of Laying Hens Manure Collected after Different Periods of Accumulation. *Cienc Rural* **2012**, *42*, <http://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000031>.
29. Moulin, J.C.; Arantes, M.D.C.; Gonçalves, F.G.; Paes, J.B.; Baraúna, E.E.P.; Rosa, R.A. Avaliação Energética Da Maravalha Gerada Em Uma Serraria de Pequeno Porte. *J Biotechnol Biodivers* **2011**, *2*, 16–22, <http://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v2n2.moulin>.
30. Miah, M.R.; Rahman, AKML; Akanda, M.R.; Pulak, A.; Rouf, M.A. Production of Biogas from Poultry Litter Mixed with the Co-Substrate Cow Dung. *J Taibah Univ Sci* **2016**, *10*, 497–504, <http://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.07.007>.
31. Rajagopal, R. Two-Stage (Liquid-Solid) Anaerobic Mono-Digestion of Ammonia-Rich Chicken Manure at Low-Temperature: Operational Strategy and Techno - Economic Assessment. *Resour Conserv Recycl Adv* **2023**, 200168, <http://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200168>.
32. Congilosi, J.L.; Aga, D.S. Review on the Fate of Antimicrobials, Antimicrobial Resistance Genes, and Other Micropollutants in Manure during Enhanced Anaerobic Digestion and Composting. *J Hazard Mater* **2021**, *405*, 123634, <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123634>.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas com piso plástico como material de cama vêm ocorrendo há algumas décadas, com finalidades distintas. Inicialmente a ideia era pesquisar materiais de pisos pensando em criação de frangos em gaiolas. Posteriormente como materiais de enriquecimento, plataformas elevadas para frangos ou poedeiras. Atualmente as pesquisas tem o cunho de viabilizar um material que minimize principalmente problemas locomotores, já que é um grande gargalo da produção de frangos de corte. O piso plástico já é utilizado na avicultura no setor de matrizes, em frente aos ninhos como plataforma de elevação. Quando observado os artigos publicados, a maioria concentra-se na Alemanha, país de referência em desenvolvimento de equipamentos, o que acaba fomentando pesquisas nessa área. No Brasil, são escassas as pesquisas nessas condições, sendo os poucos artigos publicados em condições experimentais e não comerciais.

O piso plástico possui um potencial de uso quando pensamos em limpeza e sanidade das aves. A possibilidade de limpeza e desinfecção entre os lotes é um viés a ser pesquisado com esse tipo de material. Observando o setor de suinocultura, que projeta suas instalações para escoamento de dejetos, limpeza e desinfecção, para suportar pesos superior ao do frango e ainda tecnologias que atendam a necessidade fisiológica do animal através de climatização, nos remete a almejar um futuro semelhante nas estruturas avícolas.

A dificuldade em obter resultados sólidos com o uso no piso plástico para frangos pode estar entrelaçado a variação dos materiais desenvolvidos, não sendo encontrado o tipo de piso ideal, sem prejudicar as patas e o desempenho das aves.

O piso utilizado nessa pesquisa não era comercial e sim um piso em fase de adaptações para encontrar um produto brasileiro, que atenda as necessidades das aves, sendo a segunda versão já testada em pesquisa. Esse fato pode ter contribuído aos resultados não tão positivos em relação ao uso do piso plástico para frangos de corte. Quando utilizado em conjunto com a maravalha, o piso nos primeiros dias na fase de aquecimento apresentou incrustação na superfície, mas com o passar dos dias com o peso e movimento das aves foi ocorrendo uma limpeza natural. Já na fase final apresentou limitações na qualidade das patas e pernas, sendo visível a quantidade de animais com baixo peso e gravemente lesionados, principalmente nos tratamentos 100%. Embora não quantificado nessa pesquisa, animais foram eliminados por não

terem condições de caminhar, justificando a alta mortalidade desses tratamentos ao final do experimento.

A presença da maravalha mostrou-se crucial quando comparada a esse tipo de piso, sendo uma alternativa o uso dos dois materiais em conjunto, atendendo a qualidade de cama (baixa umidade através do piso próximo a bebedouros) e um material que absorva o impacto dos animais.

Cabe ressaltar que o período de desenvolvimento da pesquisa foi no inverno extremamente rigoroso, com temperaturas externas negativas, gerando uma amplitude térmica maior no início ao final do experimento.

As variações das pesquisas em relação ao efeito positivo ou negativo do piso plástico sobre as lesões de pododermatite sugerem mais estudos comparando somente diferentes *designs* de piso plástico, pois a malha do piso, tipo de tratamento do plástico e aderência pode interferir nos resultados dessa variável. Salienta-se a importância de continuar as pesquisas nessa área, para viabilizar futuros pisos projetados para o setor, bem como o uso de dejetos de frango de corte para geração de energia, já que o sistema de produção necessita de alternativas sustentáveis. Para futuras pesquisas, recomenda-se comparar vários tipos de piso plástico (comerciais ou não), para só então ter um indicativo de qual piso seria o ideal para frango de corte até os 42 dias de vida. Outra lacuna é da reutilização desse material em lotes consecutivos e sua resposta em relação a maravalha (também reutilizada). A maravalha pode ter se destacado pelas boas condições experimentais de baixa umidade. Mas em condições de umidade elevada e compactação, não temos a resposta de qual material de cama se sobressairia nas avaliações de desempenho e bem-estar.

O uso de nanotecnologia no setor de produção animal é recente e deve ser testado em outros equipamentos. Embora não tenha tido resultados benéficos no piso, recomenda-se testes com a reutilização e análises em relação a formação de biofilme, acreditando ser esse o diferencial do antimicrobiano injetado no material plástico.