

ERNANE JOSÉ XAVIER COSTA
(Organizador)



ZOOTECNIA

DE PRECISÃO

DESAFIOS E APLICAÇÕES



editora
científica digital

ERNANE JOSÉ XAVIER COSTA
(Organizador)

ZOOTECNIA

DE PRECISÃO

DESAFIOS E APLICAÇÕES

1ª EDIÇÃO



editora
científica digital

2021 - GUARUJÁ - SP



EDITORA CIENTÍFICA DIGITAL LTDA
Guarujá - São Paulo - Brasil
www.editoracientifica.org - contato@editoracientifica.org

Diagramação e arte	2021 by Editora Científica Digital
Equipe editorial	Copyright© 2021 Editora Científica Digital
Imagens da capa	Copyright do Texto © 2021 Os Autores
Adobe Stock - licensed by Editora Científica Digital - 2021	Copyright da Edição © 2021 Editora Científica Digital
Revisão	Acesso Livre - Open Access
Os autores	

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra foram submetidos para avaliação do Conselho Editorial da Editora Científica Digital, bem como revisados por pares, sendo indicados para a publicação.

O conteúdo dos capítulos e seus dados e sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. É permitido o download e compartilhamento desta obra desde que pela origem e no formato Acesso Livre (Open Access) com os créditos atribuídos aos respectivos autores, mas sem a possibilidade de alteração de nenhuma forma, catalogação em plataformas de acesso restrito e utilização para fins comerciais.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Sem Derivações 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) **(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

Z87

Zootecnia de precisão [livro eletrônico] : desafios e aplicações / Organizador Ernane José Xavier Costa. – Guarujá, SP: Científica Digital, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5360-039-3

DOI 10.37885/978-65-5360-039-3

1. Zootecnia. I. Costa, Ernane José Xavier.

CDD 636

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

E-BOOK
ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2021

CORPO EDITORIAL

Direção Editorial

Reinaldo Cardoso

João Batista Quintela

Editor Científico

Prof. Dr. Robson José de Oliveira

Assistentes Editoriais

Erick Braga Freire

Bianca Moreira

Sandra Cardoso

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior - CRB6/2422

Jurídico

Dr. Alandelon Cardoso Lima - OAB/SP-307852



editora
científica digital

CONSELHO EDITORIAL

MESTRES, MESTRAS, DOUTORES E DOUTORAS

Robson José de Oliveira

Universidade Federal do Piauí, Brasil

Eloisa Rosotti Navarro

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Rogério de Melo Grillo

Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Carlos Alberto Martins Cordeiro

Universidade Federal do Pará, Brasil

Ernane Rosa Martins

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Brasil

Rossano Sartori Dal Molin

FSG Centro Universitário, Brasil

Domingos Bombo Damião

Universidade Agostinho Neto, Angola

Carlos Alexandre Oelke

Universidade Federal do Pampa, Brasil

Patrício Francisco da Silva

Universidade CEUMA, Brasil

Reinaldo Eduardo da Silva Sales

Instituto Federal do Pará, Brasil

Dalízia Amaral Cruz

Universidade Federal do Pará, Brasil

Susana Jorge Ferreira

Universidade de Évora, Portugal

Fabricao Gomes Gonçalves

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Erival Gonçalves Prata

Universidade Federal do Pará, Brasil

Gevair Campos

Faculdade CNEC Unaí, Brasil

Flávio Aparecido De Almeida

Faculdade Unida de Vitória, Brasil

Mauro Vinicius Dutra Girão

Centro Universitário Ita, Brasil

Clóvis Luciano Giacomet

Universidade Federal do Amapá, Brasil

Giovanna Moraes

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

André Cutrim Carvalho

Universidade Federal do Pará, Brasil

Silvani Verruck

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Auristela Correa Castro

Universidade Federal do Pará, Brasil

Oswaldo Contador Junior

Faculdade de Tecnologia de Jahu, Brasil

Claudia Maria Rinhel-Silva

Universidade Paulista, Brasil

Dennis Soares Leite

Universidade de São Paulo, Brasil

Silvana Lima Vieira

Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Cristina Berger Fadel

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Graciete Barros Silva

Universidade Estadual de Roraima, Brasil

Juliana Campos Pinheiro

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Cristiano Marins

Universidade Federal Fluminense, Brasil

Silvio Almeida Junior

Universidade de Franca, Brasil

Raimundo Nonato Ferreira Do Nascimento

Universidade Federal do Piauí, Brasil

Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva

Escola Superior de Ciências da Santa Casa de Misericórdia de Vitória, Brasil

Carlos Roberto de Lima

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil



editora
científica digital

Daniel Luciano Gevehr

Faculdades Integradas de Taquara, Brasil

Maria Cristina Zago

Centro Universitário UNIFAAT, Brasil

Wesley Viana Evangelista

Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil

Samylla Maira Costa Siqueira

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Gloria Maria de Franca

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Antônio Marcos Mota Miranda

Instituto Evandro Chagas, Brasil

Carla da Silva Sousa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Dennys Ramon de Melo Fernandes Almeida

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Francisco de Sousa Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Reginaldo da Silva Sales

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

Mário Celso Neves De Andrade

Universidade de São Paulo, Brasil

Maria do Carmo de Sousa

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Mauro Luiz Costa Campello

Universidade Paulista, Brasil

Sayonara Cotrim Sabioni

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Ricardo Pereira Sepini

Universidade Federal de São João Del-Rei, Brasil

Flávio Campos de Moraes

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Sonia Aparecida Cabral

Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, Brasil

Jonatas Brito de Alencar Neto

Universidade Federal do Ceará, Brasil

Moisés de Souza Mendonça

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

Pedro Afonso Cortez

Universidade Metodista de São Paulo, Brasil

Iara Margolis Ribeiro

Universidade do Minho, Brasil

Juliano Pizzano Ayoub

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

Vitor Afonso Hoeflich

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Bianca Anacleto Araújo de Sousa

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

Bianca Cerqueira Martins

Universidade Federal do Acre, Brasil

Daniela Remião de Macedo

Faculdade de Belas Artes da Universidade de Lisboa, Portugal

Dioniso de Souza Sampaio

Universidade Federal do Pará, Brasil

Rosemary Laís Galati

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Maria Fernanda Soares Queiroz

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Leonardo Augusto Couto Finelli

Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil

Thais Ranielle Souza de Oliveira

Centro Universitário Euroamericano, Brasil

Alessandra de Souza Martins

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Claudiomir da Silva Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, Brasil

Fabício dos Santos Ritá

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, Brasil

Danielly de Sousa Nóbrega

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre, Brasil

Livia Fernandes dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre, Brasil

Liege Coutinho Goulart Dornellas

Universidade Presidente Antônio Carlos, Brasil

Ticiano Azevedo Bastos

Secretaria de Estado da Educação de MG, Brasil

Walmir Fernandes Pereira

Miami University of Science and Technology, Estados Unidos da América

Jónata Ferreira De Moura

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Camila de Moura Vogt

Universidade Federal do Pará, Brasil

José Martins Juliano Eustaquio

Universidade de Uberaba, Brasil

Adriana Leite de Andrade

Universidade Católica de Petrópolis, Brasil

Francisco Carlos Alberto Fonteles Holanda

Universidade Federal do Pará, Brasil

Bruna Almeida da Silva

Universidade do Estado do Pará, Brasil

Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco

Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Brasil

Ronei Aparecido Barbosa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, Brasil

Julio Onésio Ferreira Melo

Universidade Federal de São João Del Rei, Brasil

Juliano José Corbi

Universidade de São Paulo, Brasil

Thadeu Borges Souza Santos

Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho

Universidade Federal do Cariri, Brasil

Francine Náthalie Ferraresi Rodrigues Queluz

Universidade São Francisco, Brasil

Maria Luzete Costa Cavalcante

Universidade Federal do Ceará, Brasil

Luciane Martins de Oliveira Matos

Faculdade do Ensino Superior de Linhares, Brasil

Rosenery Pimentel Nascimento

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Irlane Maia de Oliveira

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Lívia Silveira Duarte Aquino

Universidade Federal do Cariri, Brasil

Xaene Maria Fernandes Mendonça

Universidade Federal do Pará, Brasil

Thaís de Oliveira Carvalho Granado Santos

Universidade Federal do Pará, Brasil

Fábio Ferreira de Carvalho Junior

Fundação Getúlio Vargas, Brasil

Anderson Nunes Lopes

Universidade Luterana do Brasil, Brasil

Carlos Alberto da Silva

Universidade Federal do Ceará, Brasil

Keila de Souza Silva

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

Francisco das Chagas Alves do Nascimento

Universidade Federal do Pará, Brasil

Réia Sílvia Lemos da Costa e Silva Gomes

Universidade Federal do Pará, Brasil

Arinaldo Pereira Silva

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil

Laís Conceição Tavares

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

Ana Maria Aguiar Frias

Universidade de Évora, Brasil

Willian Douglas Guilherme

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Evaldo Martins da Silva

Universidade Federal do Pará, Brasil

Biano Alves de Melo Neto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Antônio Bernardo Mendes de Seica da Providência Santarém

Universidade do Minho, Portugal

Valdemir Pereira de Sousa

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Sheylla Susan Moreira da Silva de Almeida

Universidade Federal do Amapá, Brasil

Miriam Aparecida Rosa

Instituto Federal do Sul de Minas, Brasil

Rayme Tiago Rodrigues Costa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

Priscyla Lima de Andrade

Centro Universitário UniFBV, Brasil

Andre Muniz Afonso

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

Gabriel Jesus Alves de Melo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Brasil

Deise Keller Cavalcante

Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro

Larissa Carvalho de Sousa

Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal

Daniel dos Reis Pedrosa

Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil

Wiaslan Figueiredo Martins

Instituto Federal Goiano, Brasil

Lênio José Guerreiro de Faria

Universidade Federal do Pará, Brasil

Tamara Rocha dos Santos

Universidade Federal de Goiás, Brasil

Marcos Vinicius Winckler Caldeira

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Gustavo Soares de Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Brasil

Adriana Cristina Bordignon

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Norma Suely Evangelista-Barreto

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil

Larry Oscar Chañi Paucar

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Peru

Pedro Andrés Chira Oliva

Universidade Federal do Pará, Brasil

Daniel Augusto da Silva

Fundação Educacional do Município de Assis, Brasil

Aleteia Hummes Thaines

Faculdades Integradas de Taquara, Brasil

Elisângela Lima Andrade

Universidade Federal do Pará, Brasil

Reinaldo Pacheco Santos

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil

Cláudia Catarina Agostinho

Hospital Lusíadas Lisboa, Portugal

Carla Cristina Bauermann Brasil

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Humberto Costa

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Ana Paula Felipe Ferreira da Silva

Universidade Potiguar, Brasil

Ernane José Xavier Costa

Universidade de São Paulo, Brasil

Fabricia Zanelato Bertolde

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

Eliomar Viana Amorim

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

Nássarah Jabur Lot Rodrigues

Universidade Estadual Paulista, Brasil

José Aderval Aragão

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

Caroline Muñoz Cevada Jeronymo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil

Aline Silva De Aguiar

Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil

Renato Moreira Nunes

Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil

Júlio Nonato Silva Nascimento

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil

Cybelle Pereira de Oliveira

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Cristianne Kalinne Santos Medeiros

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Fernanda Rezende

Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Estudo em Educação Ambiental, Brasil

Clara Mockdece Neves

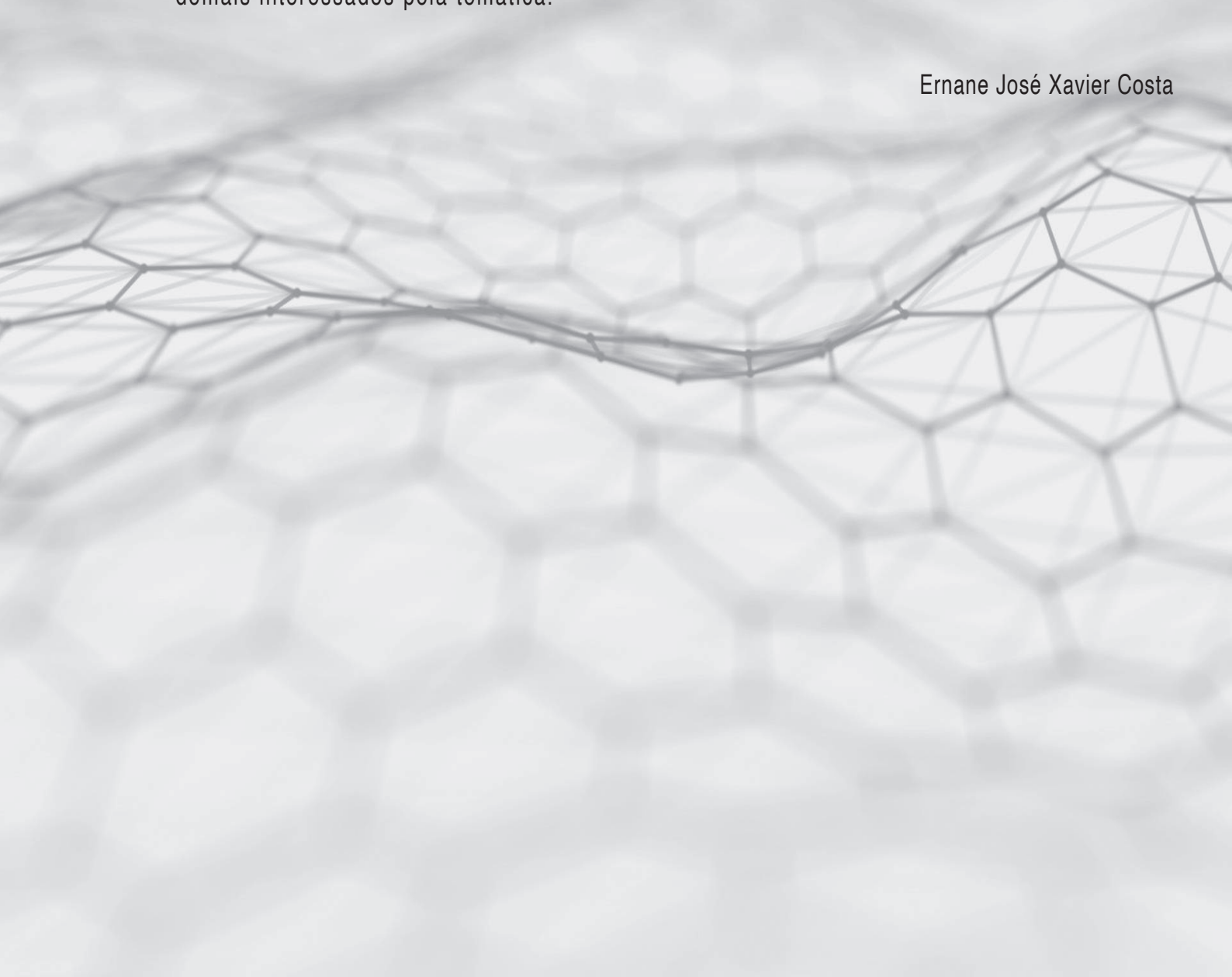
Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil

APRESENTAÇÃO

Esta obra constituiu-se a partir de um processo colaborativo entre professores, estudantes e pesquisadores que se destacaram e qualificaram as discussões neste espaço formativo. Resulta, também, de movimentos interinstitucionais e de ações de incentivo à pesquisa que congregam pesquisadores das mais diversas áreas do conhecimento e de diferentes Instituições de Educação Superior públicas e privadas de abrangência nacional e internacional. Tem como objetivo integrar ações interinstitucionais nacionais e internacionais com redes de pesquisa que tenham a finalidade de fomentar a formação continuada dos profissionais da educação, por meio da produção e socialização de conhecimentos das diversas áreas do Saberes.

Agradecemos aos autores pelo empenho, disponibilidade e dedicação para o desenvolvimento e conclusão dessa obra. Esperamos também que esta obra sirva de instrumento didático-pedagógico para estudantes, professores dos diversos níveis de ensino em seus trabalhos e demais interessados pela temática.

Ernane José Xavier Costa



SUMÁRIO

CAPÍTULO 01

ADUBAÇÃO BIOLÓGICA E SEU EFEITO NO CAPIM *BRACHIARIA DECUMBENS* SOBRE A PRODUÇÃO DE FORRAGEM

Miguel Antonio Lara-Calderon; Luis Antonio Ordoñez Songor; Valter Harry Bumbieiris Junior; Leoncio Villota-Gonzalez

doi 10.37885/211206906 13

CAPÍTULO 02

ASSOCIAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR E GANHO EM ACABAMENTO DE CARCAÇA DE BOVINOS DA RAÇA NELORE

Mariana Mundim Alves Gomes; Carina Ubirajara de Faria; Bruna Suelen Borges Resende Bezerra; Joice de Medeiros Miguel; Gabriel Corsino Borges; Egleu Diomedes Marinho Mendes

doi 10.37885/211106662 25

CAPÍTULO 03

AValiação DA VIABILIDADE TÉCNICA E OPERACIONAL DE DETECÇÃO RÁPIDA DE SALMONELLA

Larissa de Camargo Sampaio

doi 10.37885/211106847 36

CAPÍTULO 04

BEM-ESTAR ANIMAL DURANTE ABATE DE AVES AVALIADO POR MEIO DE ELETROENCEFALOGRAMA: UM REFERENCIAL TEÓRICO

Luciana Vieira Piza; Ernane José Xavier Costa; Leonardo Thielo de La Vega

doi 10.37885/211106790 50

CAPÍTULO 05

COMPORTAMENTO INGESTIVO DE NOVILHOS TERMINADOS COM CASCA DO GRÃO DE SOJA E/OU GRÃO DE AVEIA BRANCA

Álisson Marian Callegaro; Ivan Luiz Brondani; Dari Celestino Alves Filho; Luiz Ângelo Damian Pizzuti; Ricardo Lima Azevedo Júnior; Diego Soares Machado; Lucas Braido Pereira; Daniele Borchate; Amanda Farias de Moura

doi 10.37885/211106816 59

CAPÍTULO 06

DESAFIOS NO USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO BASEADOS NO RGB PARA DIAGNÓSTICO DO STATUS DE NITROGÊNIO EM GRAMÍNEAS SOB PASTEJO

Caio Augusto Bertolini; Adriano Rogério Bruno Tech; Murilo Mesquita Baesso; Fabrício Rossi; Lilian Elgalise Techio Pereira

doi 10.37885/211106788 74

SUMÁRIO

CAPÍTULO 07

EFICIÊNCIA DE BIOPOLÍMEROS COMO INOCULANTES DE *LACTOBACILLUS* PARA ENSILAGEM DE MANDIOCA

Adrielle de Melo Cezar Almeida Canabarro; Antonia Juliana Xavier Fernandes; Crisea Cristina Nascimento de Cristo; Yamina Coentro Montaldo; Livia Ribeiro da Silva; Bruna Brasil Oliveira; Elizabeth Simões do Amaral Alves; Tania Marta Carvalho dos Santos

doi 10.37885/211106818 94

CAPÍTULO 08

MANEJOS NUTRICIONAIS PARA O COMBATE DA HIPOCALCEMIA EM VACAS LEITEIRAS

Erick Tonello Barreto; Melina Tamiozzo Calegari; Carla Joice Härter

doi 10.37885/211106782 99

CAPÍTULO 09

PONTO DE SACIEDADE EM PEIXES: AVALIAÇÃO DO FRENESI UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

Augusto de Caldas Ayres Estácio; Fabio Rosa Sussel; Ernane José Xavier Costa; Aldo Ivan Céspedes Arce; Ana Carolina de Sousa Silva

doi 10.37885/211106769 116

CAPÍTULO 10

SISTEMA AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO PARA PRODUTORES RURAIS: CONTROLE E MONITORAMENTO DO AMBIENTE TÉRMICO NA SUINOCULTURA

Pedro Hurtado de Mendoza Borges; Zaíra Moraes dos Santos Hurtado de Mendoza; Pedro Hurtado de Mendoza Moraes; Ronei Lopes dos Santos

doi 10.37885/211006486 125

CAPÍTULO 11

SUPLEMENTAÇÃO DE SELÊNIO PARA PÓS-LARVAS DE TILÁPIA-DO-NILO: UMA REVISÃO NARRATIVA

João Marcos Monteiro Batista; Alison Batista Vieira Silva Gouveia; Lorryne Moraes de Paulo; Allan Gabriel Ferreira Dias; Júlio César Lopes Brasileiro; Patryck da Costa Dias; Leonardo Augusto Fonseca Pascoal

doi 10.37885/211006439 136

SUMÁRIO

CAPÍTULO 12

UTILIZAÇÃO DE DDG E WDG NA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES

Lucas Cavalli Vieira; Daniel José Cavalli Vieira; Rodrigo Chaves Barcellos Grazziotin; Guilherme Poletti; Julio Viegas; Juliano Perottoni; Rogério Fôlha Bermudes

 10.37885/211106630 151

SOBRE O ORGANIZADOR..... 170

ÍNDICE REMISSIVO 171

Adubação biológica e seu efeito no capim *Brachiaria decumbens* sobre a produção de forragem

| Miguel Antonio Lara-Calderon
UEL

| Luis Antonio Ordoñez Songor
CITTSM

| Valter Harry Bumbieiris Junior
UEL

| Leoncio Villota-Gonzalez
UTELVT

RESUMO

Objetivo: este trabalho foi desenvolvido com o intuito de avaliar o efeito de fertilizantes de origem biológico e do intervalo de rebrota, sobre a altura da planta e a produção de biomassa seca da forragem *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. **Método:** Utilizou-se um delineamento de blocos inteiramente casualizados, em arranjo fatorial 3x3. Os tratamentos consistiram em três adubos biológicos (Sem adubação, húmus líquido e biofertilizante) e três intervalos de rebrota (21, 35 e 49 dias), com três repetições por tratamento. Um corte de uniformização foi realizado aproximadamente a 10 cm da superfície do solo. Os dados foram analisados através da correspondente análise de variância, comparação das médias pelo teste de Tukey ao nível de 5%, utilizando o software estatístico Infostat. **Resultados:** A aplicação de adubos biológicos aumentou significativamente ($P < 0,05$), as alturas das plantas (50,90 e 51,42 cm para húmus líquido e biofertilizante, respectivamente) e a biomassa seca (1288,18 e 1276,71 kg ha⁻¹ para húmus líquido e biofertilizante, respectivamente). Da mesma forma, detectou-se diferença ($P < 0,05$) no intervalo de rebrota, mostrando as maiores alturas e produção de biomassa seca na idade de 49 dias de rebrota. Todos os tratamentos na variável de altura da planta tiveram efeito linear crescente conforme o avanço do intervalo de rebrota avançava. **Conclusão:** O uso de fertilizantes de origem biológico melhora o crescimento e a produção de biomassa seca. Além disso, o período avaliado das idades de rebrota não interferiu no ritmo de desenvolvimento da altura da planta e nem se detectou decréscimo da produção da biomassa.

Palavras-chave: Biofertilizante, Capim Tropical, Húmus Líquido, Produção de Matéria Seca, Rebrota.

■ INTRODUÇÃO

Pastagens e forragens são a principal fonte de alimento para ruminantes nos trópicos; No entanto, a baixa fertilidade da maioria dos solos dedicados à pecuária limita seus rendimentos e valor nutricional e, conseqüentemente, a produtividade dessas culturas (RAMÍREZ-PEDROSO *et al.*, 2017).

A fertilização é uma das formas de repor os nutrientes extraídos do solo, e também uma alternativa para aumentar a oferta de forragem por unidade de área e tempo. Entretanto, com a diminuição da fertilidade do solo, esta se torna uma atividade cada vez mais complexa, não só pelo seu efeito no aumento dos custos da produção agrícola, mas também pelo aumento dos riscos de contaminação do solo e da água por adições de nitrato, implicados pela adição de quantidades crescentes de fertilizantes químicos (especialmente com nitrogênio) (MERLIN; HE; ROSOLEM, 2014; PEDREIRA *et al.*, 2017).

Anteriormente, os estudos relacionados à fertilização se baseavam no aumento da produção agrícola por unidade de área e no estabelecimento de limites econômicos para o uso de fertilizantes. Atualmente, sem perder de vista o aspecto econômico, atribui-se grande importância à preservação do meio ambiente, de modo que a necessidade de se desenhar modelos agrícolas que contemplem estratégias para esta prática, voltada a garantir a nutrição adequada das culturas e, ao mesmo tempo, garantir a proteção dos recursos naturais (RAMÍREZ-PEDROSO *et al.*, 2017).

Dentre essas estratégias incluem-se a utilização de insumos biológicos, com finalidade de melhorar a produtividade das lavouras e, ao mesmo tempo, reduzir a necessidade de fertilizantes químicos, a partir do aumento na eficiência de absorção de nutrientes pelas plantas (YANG *et al.*, 2014).

A fertilização biológica é baseada no uso de insumos naturais (por exemplo, adubos, restos de decomposição de matéria orgânica, excesso de safras, águas residuais domésticas, esterco animal e microorganismos como fungos, bactérias) (MUÑOZ; BENAVIDES, 2010), para melhorar a fixação de nutrientes na rizosfera, produzir estimulantes de crescimento para plantas, melhorar a estabilidade do solo, facilitar o controle biológico, biodegradar substâncias, reciclar nutrientes, promover simbiose micorrízica, desenvolver processos de biorremediação em solos contaminados com substâncias tóxicas, xenobióticos, recalcitrantes (BELTRÁN-BRITO, 2016)

Dentre os diversos adubos biológicos, pode-se destacar o húmus de minhoca, produzido pelo processo de vermicompostagem, no qual ação conjunta de minhocas (*Eisenia foetida*) e microorganismos aceleram o processo de degradação da matéria orgânica. Esse é amplamente utilizado por ser um produto de baixo custo e possuir microorganismos benéficos, além de possuir nutrientes essenciais para as plantas e hormônios de crescimento

(ZHANG *et al.*, 2014; ALI *et al.*, 2015). Outro produto desse processo é o chorume (ou lixiviado), um líquido que, quando diluído em água, pode ser aproveitado como biofertilizante (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2019).

Além disso, o uso de biofertilizantes permite melhorar a produtividade por área cultivada em um curto espaço de tempo, consumir menos energia, mitigar a contaminação do solo e da água, aumentar a fertilidade do solo e favorecer o antagonismo e controle biológico de organismos fitopatogênicos (MUÑOZ; BENAVIDES, 2010).

Isso se traduz em benefícios econômicos para os agricultores, devido aos menores custos associados ao processo de fertilização e obtenção de maior produtividade das lavouras (MEDEIROS, 2021). Nesse sentido, a aplicação de fertilizantes biológicos traz benefícios do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Por outro lado, o gênero *Brachiaria* (*Urochloa*) comumente chamado de brachiaria, é uma das forrageiras tropicais com a maior área cultivada na América Latina, Ásia, Pacífico Sul e Austrália (CHERUIYOT *et al.*, 2020). Somente no Brasil, 80% a 90% das áreas de pastagem são compostos por gramíneas deste gênero (SOUZA *et al.*, 2016). A forragem se destaca por apresentar características vantajosas em relação a outros gêneros: grande adaptabilidade a solos ácidos com baixa fertilidade e alto rendimento de matéria seca (PACIULLO; GOMIDE, 2016).

Com base no exposto, realizou-se este estudo, com o objetivo de avaliar a produção de biomassa e altura de planta da pastagem *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, sob o efeito de diferentes tipos de adubação biológica (biofertilizante comercial (Bactoterra®) e húmus líquido de minhoca), tudo isto, em função de três diferentes intervalos de rebrota.

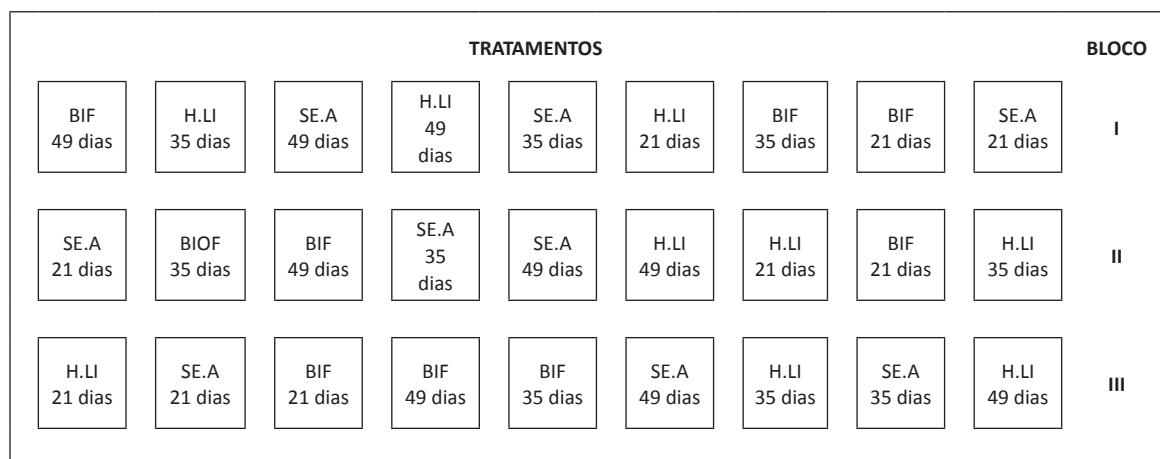
■ MÉTODO

O experimento foi conduzido no Centro de Pesquisa e Transferência de Tecnologia de San Marcos, localizado no município de Pedro Vicente Maldonado, província de Pichincha, região nor-noroeste de Pichincha, Equador (0° 6'37.47"N, 79° 2'56.63"O, a 660 m de altitude), entre os meses de maio-julho do 2017. O clima da região é subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média anual entre 24 e 28 °C e precipitação média anual de 2.800 mm (LEÓN *et al.*, 2020).

O solo da área experimental é classificado como franco-argiloso, de acordo a Lozada (2015). Antes do início do experimento, foram determinadas as características químicas do solo: 5,64 de pH; 82 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 36 ppm de N total; 3,80 ppm de P; 1,80 ppm de S; 0,08, 1,40, 0,36, 0,90, 7,80, 323, 4,50 e 0,20 meq dm⁻³ de K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn e B, respectivamente. Foi utilizada uma pastagem de *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk, já estabelecida num piquete há cinco anos.

Utilizou-se um delineamento de de blocos inteiramente casualizados, em arranjo fatorial 3x3. Os tratamentos consistiram de 3 fontes de adubos biológicos (Sem adubação, húmus liquido e biofertilizante) e três intervalos de rebrota (21, 35 e 49 dias), com três repetições por tratamento. Foram utilizadas 27 unidades experimentais (parcelas), com uma área de 20 m² (4x5 m) por parcela, com espaçamento de 1 metro de rua entre tratamentos e 2 metros entre blocos (Figura 1).

Figura 1. Croquis dos tratamentos experimentais no campo.



SE.A, sem adubação; H.LI, húmus liquido; BIF, biofertilizante

Fonte: O próprio Autor.

A composição química do adubo biológico do tipo húmus liquido mostrou: 9,10 de pH; 10,50 g kg⁻¹ de MS; 67 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 0,80, 0,20, 5,10, 20,50, 0,10 e 0,70 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente; 5 ppm de Cu; 10,72 ppm de B; 9 ppm de Fe; 8 ppm de Zn; 4 ppm de Mn e 9,26 dS/m de condutividade elétrica. Por outro lado, o biofertilizante comercial Bactoterra® (EcocycleBiotech, Quito, Equador) contém: cepas das bactérias *Azotobacter vinelandi*, *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* na concentração de 1,0x10⁹ UFC 12g⁻¹, também contém dispersantes e estabilizadores.

Após estabelecidas as parcelas conforme os tratamentos, um corte de uniformização foi realizado aproximadamente a 10 cm da superfície do solo, usando uma segadeira com motor costal. Ao dia seguinte, foram aplicadas as adubações biológicas, tanto húmus liquido quanto biofertilizante, na mesma dose de 4 ml 400ml⁻¹ de água parcela⁻¹. Foram estudadas as seguintes variáveis: altura da planta, teor de matéria seca e produção de biomassa seca da forragem. A altura da planta foi obtida selecionando dez plantas aleatoriamente de cada parcela, usando-se uma régua graduada, medindo-se do nível do solo até a copa da forragem. A produção de biomassa da forragem foi avaliada cortando toda a parcela, excepto 1 m de cada lado para evitar o efeito de borda, seguida de secagem a 55 °C por 72 h e posterior pesagem.

Todos os dados foram inicialmente testados quanto à normalidade pelo método Shapiro-Wilk e homocedasticidade. Após o cumprimento dos pressupostos paramétricos estatísticos, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, quando os resultados do teste F foram significativos ($P < 0,05$). Além disso, a análise de regressão foi realizada para determinar o comportamento dos parâmetros em resposta à aplicação das diferentes adubações biológicas via sem adubação, húmus líquido e biofertilizante, avaliou-se a significância dos betas e coeficientes de determinação para obter o modelo de regressão adequado. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no software estatístico Infostat versão 2017.1.2.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da altura da planta, teor de matéria seca e produção de Biomassa seca, em função das adubações biológicas e intervalo de rebrota, estão demonstrados na tabela 1. Houve interação entre as adubações e os intervalos de rebrota ($P < 0,05$), apresentando maiores alturas os tratamentos que foram aplicados com húmus líquido e biofertilizante, com valores em média de 50,90 e 51,42 cm, respectivamente. Por outro lado, verificou-se também que a maior intervalo de rebrota (49 dias), apresentou-se a maior altura da planta.

De acordo aos resultados mencionados anteriormente, afirma-se que ao usar adubos biológicos, as plantas apresentaram maior desenvolvimento refletido na altura da planta, possivelmente devido ao que foi relatado por Beltrán-Brito (2016), que o húmus fornece um benefício especial, que produz ativadores de crescimento, que ajudam as plantas a se desenvolverem mais rapidamente, da mesma forma, Hungria; Nogueira e Araujo (2016), indicaram que os efeitos benéficos do *Azospirillum brasilense* têm sido frequentemente relacionados à síntese e liberação de fitormônios para plantas hospedeiras, estimulando seu crescimento. O biofertilizante comercial utilizado neste experimento contém cepas desta bactéria, e a liberação desse fitohormônio na rizosfera deve ser o fator responsável pela altura das plantas.

Comparando os resultados obtidos da altura da planta, consideram-se superiores aos declarados por Rojas-Prieto (2020), que avaliou a pastagem *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk sob a aplicação de biofertilizante a partir de dejetos pecuários, em função de três intervalos de rebrota, apresentando valores máximos de 11,1; 22,9 e de 36,7 cm aos 15, 30 e 45 dias de rebrota, respectivamente. Jumbo-Macas (2018) ao avaliar a aplicação de cama de frango líquida como adubo, relatou uma altura de 53,80 cm aos 30 dias de rebrota, semelhante à observada em média neste experimento aos 35 dias de rebrota.

Nos teores de MS, não foram detectadas diferenças significativas em nenhum dos fatores estudados ($P > 0,05$), entretanto, é possível sinalizar que os tratamentos com maior

intervalo de rebrota tiveram superiores teores de MS em relação aos demais (Tabela 1). O aumento nos teores de MS era esperado. À medida que as plantas amadurecem, ocorre intensificação no alongamento do caule e diminuição progressiva na proporção de folhas. Isso leva a uma redução no conteúdo celular, umidade e valor nutricional da planta com a maturidade.

Os valores de produção de biomassa seca foram afetados tanto pelo fator adubação e intervalo de rebrota ($P > 0,05$), observando-se os melhores rendimentos em média, nos tratamentos que foram aplicados os adubos biológicos, com valores de 1288,18 e 1276,71 kg ha⁻¹ para húmus líquido e biofertilizante, respectivamente. Sob outra perspectiva, verificou-se também, que a mais velho intervalo de rebrota houve o maior rendimento em média entre todos os adubos com 1823,47 kg ha⁻¹ (Tabela 1).

Resultados diferentes foram observados por Silva *et al.* (2015), que avaliaram o capim *Bracharia decumbens* cv. Basilisk sob o efeito de fertilizações de fonte mineral, dejetos suínos (180 m³ ha⁻¹) e organomineral, colhido em dois intervalos de rebrota. Os autores relataram rendimentos de 1496,50; 991,35 e 1117,50 kg ha⁻¹ aos 35 dias de rebrota, respectivamente e, de 2484,50; 3825,75 e 3998,00 kg ha⁻¹ aos 60 dias de rebrota, respectivamente. Esses rendimentos maiores em relação ao presente estudo podem ser devido ao ecótipo ou à qualidade do solo, bem com ao fato de os autores avaliaram o capim em intervalos maiores de rebrota.

Thenmozhi *et al.* (2010) quantificou o aumento na produção de biomassa e crescimento de diferentes espécies usando biofertilizantes (ou seja, mistura de biogás, vermicompostagem, inoculantes microbianos *Azospirillum* e *Pseudomonas*, e combinação deles). Foram avaliadas adições únicas ou combinadas de adubos biológicos e os principais resultados foram que a aplicação de adubos biológicos combinados é muito mais eficiente do que individualmente em termos de crescimento das plantas.

Tabela 1. Altura da planta, teor de matéria seca e produção de Biomassa seca da forragem *Bracharia decumbens* cv. Basilisk, sob o efeito de diferentes adubações biológicas, em função de três intervalos de rebrota.

Variáveis	Adubação	Intervalo de Rebrota (dias)			Média	EPM	P-valor		
		21	35	49			IR	FERT	IR x FERT
Altura da Planta (cm)	Sem Adubação	27,13	50,23	63,40	46,92 ^B	0,50	<0,0001	<0,0001	0,5398
	Húmus Líquido	31,13	54,07	67,50	50,90 ^A				
	Biofertilizante	30,10	55,47	68,70	51,42 ^A				
	Média	29,46 ^c	53,26 ^b	66,53 ^a					
Matéria Seca (% de MN)	Sem Adubação	19,28	17,14	18,88	18,43	0,50	0,9422	0,1877	0,2169
	Húmus Líquido	17,16	18,40	19,73	18,43				
	Biofertilizante	19,58	17,72	18,63	18,65				
	Média	18,67	17,75	19,08					
Produção de Biomassa Seca (kg ha ⁻¹)	Sem Adubação	686,07	857,21	1595,15	1046,15 ^A	28,88	<0,0001	<0,0001	0,0966
	Húmus Líquido	763,07	1125,06	1898,84	1288,18 ^B				
	Biofertilizante	835,64	1095,67	1976,41	1276,71 ^B				
	Média	761,59 ^a	1025,98 ^b	1823,47 ^c					

a – c Médias com diferentes letras minúsculas na linha diferem entre intervalos de rebrota pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A – C Médias com diferentes letras maiúsculas na coluna diferem entre fertilizantes pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

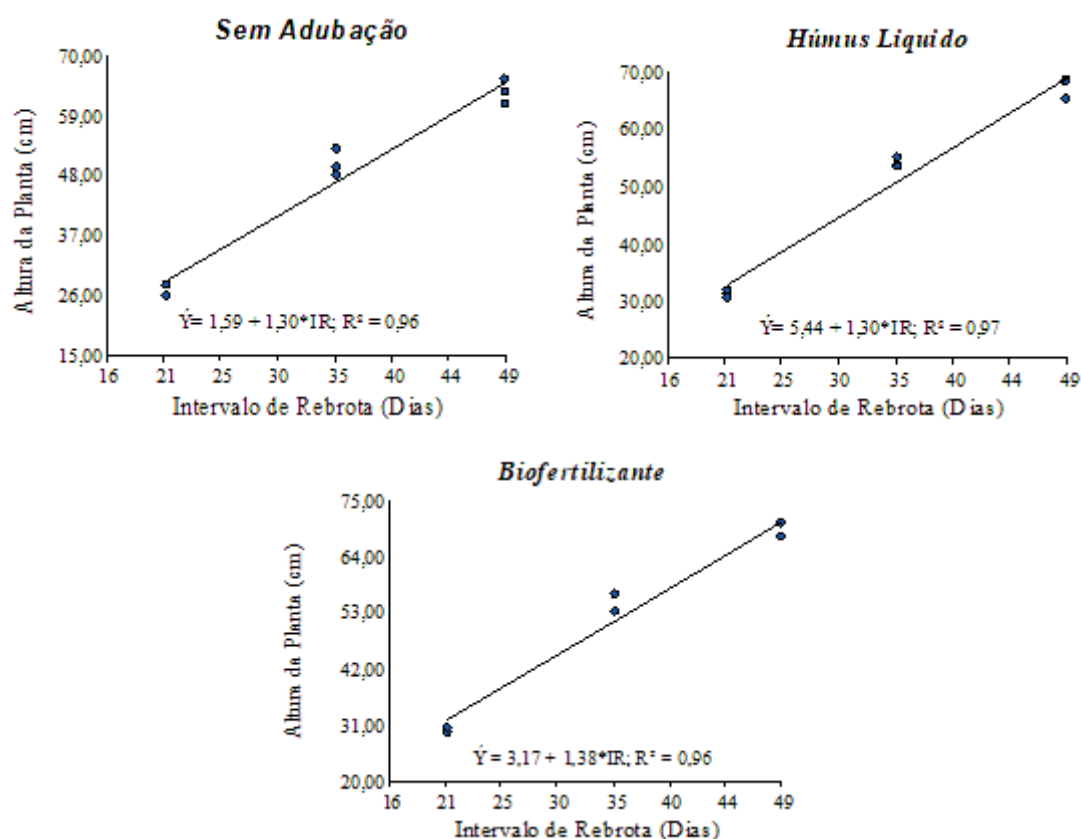
IR, intervalo de rebrota; FERT, fertilizante; EPM, erro padrão da média

Fonte: O próprio Autor.

Em relação ao comportamento da pastagem *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em função do intervalo de rebrota, na variável altura da planta apresentaram ajuste aos modelos propostos (Figura 2). Todos os tratamentos que foram aplicados as adubações biológicas e os que não foram, apresentaram aumento linear ($P>0,05$) conforme o avanço do intervalo, alongamento de 1,30; 1,30 e 1,38 cm por dia de rebrota para os tratamentos sem adubação, húmus líquido e biofertilizante, respectivamente.

No entanto, no trabalho de Silva *et al.* (2020), que avaliaram o efeito de diferentes doses de fertilização N-P-K no capim *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, relataram ajuste de modelo quadrático para altura da planta, conforme o avance do intervalo de rebrota (realizado a cada 30 dias, começando 45 dias após o plantio).

Figura 2. Comportamento e equações de regressão da pastagem *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, sob o efeito da adubação biológica, em função do intervalo de rebrota, sobre a variável de resposta da altura da planta.

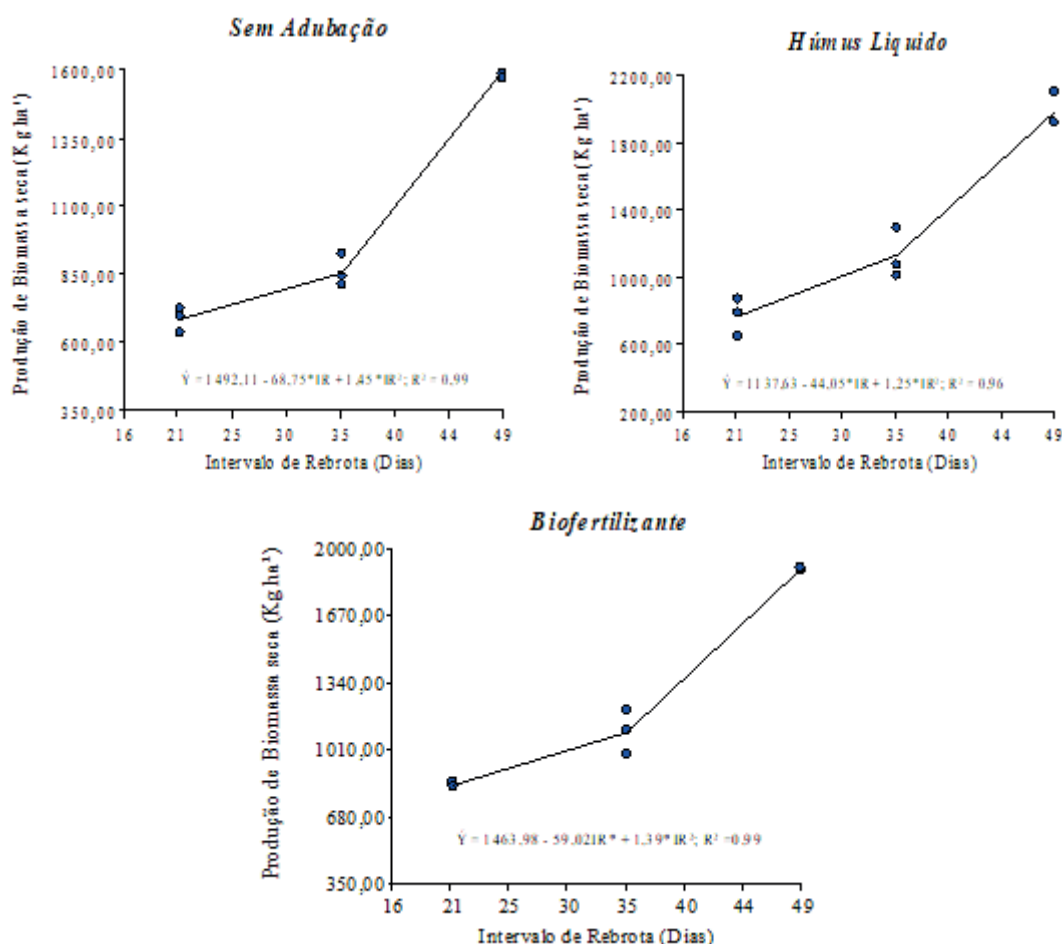


Fonte: O próprio Autor.

Em relação ao comportamento da pastagem *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em função do intervalo de rebrota, na variável de produção de biomassa seca apresentaram ajuste aos modelos propostos (Figura 3). Todos os tratamentos que foram aplicados as adubações biológicas e os que não foram, observou-se diminuição e aumento quadrático ($P>0,05$). Esse comportamento pode ser devido ao aumento da capacidade metabólica das gramíneas no processo de mobilização e síntese de substâncias orgânicas para a formação e funcionamento de suas estruturas (LUNA *et al.*, 2015).

Efeito contrario foi observado no estudo de Ramírez *et al.* (2012), onde relataram comportamento de aumento e diminuição quadrático ($P>0,05$) conforme o intervalo de rebrota avançava. Os autores avaliaram o capim *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk com até 105 dias de rebrota, maior em relação ao deste estudo. Fato que explicaria o decréscimo na produção de biomassa.

Figura 3. Comportamento e equações de regressão da pastagem *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, sob o efeito da adubação biológica, em função do intervalo de rebrota, sobre a variável de resposta de produção de biomassa seca.



Fonte: O próprio Autor.

CONCLUSÃO

O uso de fertilizantes de origem biológico melhora o crescimento e a produção de biomassa seca. Além disso, o período avaliado das idades de rebrota não interferiu no ritmo de desenvolvimento da altura da planta e nem se detectou decréscimo da produção da biomassa. Por tanto, recomenda-se o pastejo ou corte desta pastagem no intervalo de 49 dias de rebrota, idade que mostrou melhor rendimento de biomassa seca.

■ AGRADECIMENTOS E/OU FINANCIAMENTO

Ao Centro de Pesquisa e Transferência de Tecnologia de San Marcos (CITTSM) em parceria com o departamento de Engenharia Zootécnica da Universidade Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, bem como, ao laboratório EcocycleBiotech, pela infraestrutura, insumos e financiamento para desenvolver a pesquisa.

■ REFERÊNCIAS

1. ALI, Usman; SAJID, Nida; KHALID, Azeem; RIAZ, Luqman; RABBANI, Muhammad Muaz; SYED, Jabir Hussain; MALIK, Riffat Naseem. A review on vermicomposting of organic wastes. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, vol. 34, no. 4, p. 1050–1062, 8 Jul. 2015. DOI 10.1002/ep.12100. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ep.12100>. Accessed on: 7 Dec. 2021.
2. BELTRÁN-BRITO, Juan Diego. **Efecto de biofertilizantes humus más micorrizas en la producción forrajera de Brachiaria decumbes (Pasto dallis)**. 2016. 60 p. Tesis (Pregrado en Ingeniería Zootécnica) - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2016. Available at: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5376>. Accessed on: 7 Dec. 2021.
3. CHERUIYOT, Duncan; MIDEGA, Charles A.O.; PITTCAR, Jimmy O.; PICKETT, John A.; KHAN, Zeyaur R. Farmers' perception and evaluation of brachiaria grass (*Brachiaria* spp.) genotypes for smallholder cereal-livestock production in East Africa. **Agriculture**, vol. 10, no. 7, p. 1–13, 2020. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070268>.
4. DOMÍNGUEZ, Jorge; AIRA, Manuel; KOLBE, Allison R.; GÓMEZ-BRANDÓN, María; PÉREZ-LOSADA, Marcos. Changes in the composition and function of bacterial communities during vermicomposting may explain beneficial properties of vermicompost. **Scientific Reports** 2019, vol. 9, no. 1, p. 1–11, 4 Jul. 2019. DOI 10.1038/S41598-019-46018-W. Available at: <https://www-nature.ez78.periodicos.capes.gov.br/articles/s41598-019-46018-w>. Accessed on: 7 Dec. 2021.
5. HUNGRIA, Mariangela; NOGUEIRA, Marco Antonio; ARAUJO, Ricardo Silva. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 221, p. 125–131, 1 Apr. 2016. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2016.01.024>.
6. JUMBO-MACAS, Miguel Ángel. **Evaluación de diferentes niveles de biol en la producción forrajera de Brachiaria decumbens en el cantón San Miguel de los Bancos**. 2018. 106 p. Tesis (Pregrado en Ingeniería Zootécnica) - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2018. Available at: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8525>. Accessed on: 14 Dec. 2021.
7. LEÓN, Aroldo Botello; AGUILAR, Martínez Yordan; BONE, Mario Cotera; MONTAÑO, Morán Charles; OJEDA, Marcos Ortega; CORRÍA, Kirenia Pérez; WAITITU, Samuel. Growth performance, carcass traits and economic response of broiler fed of palm kernel meal (*Elaeis guineensis*). **Cuban Journal of Agricultural Science**, vol. 54, no. 4, p. 1–12, Oct. 2020. Available at: <https://orcid.org/0000-0003-4249-2739>. Accessed on: 12 Dec. 2021.

8. LOZADA, DAISY VERONICA VINUEZA. **Diseño de un sistema agroecoturístico productivo demostrativo. Pedro vicente maldonado, Pichincha.** 2015. 84 p. Tesis (Pregrado en Ingeniería Agronómica) - Universidad Central del Ecuador, 2015. Available at: <http://weekly.cnbnews.com/news/article.html?no=124000>.
9. LUNA, R. MURILLO; CHACÓN, E. MARCHECO; RAMÍREZ, J. DE LA RIBERA; ÁLVAREZ, G. PERDOMO; ÁLVAREZ, P. PERDOMO; PLÚA, K. PANTA; ÁLAVA, A. MURILLO. Rendimiento y calidad de dos especies del género Pennisetum en Ecuador-Yield and quality of two species of Pennisetum in Ecuador. **REDVET. Revista electrónica de Veterinaria**, vol. 16, no. 8, p. 1–10, 2015. Available at: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080815/081506.pdf>. Accessed on: 15 Dec. 2021.
10. MEDEIROS, Camila Heidrich. **Interações entre húmus líquido e plantas de cobertura aplicados aos sistemas de produção agrícola de base ecológica.** 2021. 116 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021. Available at: http://www.guaiaa.ufpel.edu.br/bitstream/prefix/7558/1/Tese_Camila_Heidrich_Medeiros.pdf. Accessed on: 7 Dec. 2021.
11. MERLIN, Alexandre; HE, Zhenli L.; ROSOLEM, Ciro Antonio. Congo grass grown in rotation with soybean affects phosphorus bound to soil carbon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 38, no. 3, p. 888–895, 2014. DOI 10.1590/S0100-06832014000300020. Available at: <http://www.scielo.br/j/rbcs/a/cwWtCgsG3sx3HgKLYnRM9TB/abstract/?lang=en&format=html>. Accessed on: 7 Dec. 2021.
12. MUÑOZ, Juan Sebastián Carvajal; BENAVIDES, Adriana Consuelo Mera. Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. **Producción + Limpia**, vol. 5, no. 2, p. 77–96, 2010. Available at: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552010000200007&lng=en&nrm=iso&tlng=es. Accessed on: 6 Dec. 2021.
13. PACIULLO, Domingos Sávio Campos; GOMIDE, Carlos Augusto de Miranda. As contribuições de Brachiaria e Panicum para a pecuária leiteira. In: VILELA, Duarte; FERREIRA, Reinaldo dePaula; FERNANDES, Elizabeth Nogueira; JUNTOLLI, Fabrício Vieira (eds.). **PECUÁRIA DE LEITE NO BRASIL: Cenários e avanços tecnológicos.** Brasília, DF: EMBRAPA, 2016. p. 167–186. Available at: www.embrapa.br/fale-conosco/sac. Accessed on: 7 Dec. 2021.
14. PEDREIRA, B. C.; BARBOSA, P. L.; PEREIRA, L. E.T.; MOMBACH, M. A.; DOMICIANO, L. F.; PEREIRA, D. H.; FERREIRA, A. Tiller density and tillering on Brachiaria brizantha cv. Marandu pastures inoculated with Azospirillum brasilense. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, vol. 69, no. 4, p. 1039–1046, 2017. DOI 10.1590/1678-4162-9034. Available at: <http://www.scielo.br/j/abmvz/a/Ct5HNxwQxpZkDLDY3TjSBkN/?lang=en>. Accessed on: 7 Dec. 2021.
15. RAMÍREZ-PEDROSO, Juan Francisco; GONZÁLEZ-CAÑIZARES, Pedro José; SALAZAR-RUIZ, Xiomara; RIVERA-ESPINOSA, Ramón; RODOLFO, Hernández-jimenez; PLANA-LLERENA, Alberto. Inoculación micorrízico-arbuscular y reducción de la fertilización orgánica y nitrogenada en Megathyrsus maximus cv. Likoni. **Pastos y Forrajes**, vol. 40, no. 2, p. 108–117, 2017. .
16. RAMÍREZ, J. L.; HERRERA, R. S.; LEONARD, I.; VERDECIA, D.; ÁLVAREZ, Y. Rendimiento y calidad de la Brachiaria decumbens en suelo fluvisol del Valle del Cauto, Cuba. **REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria**, vol. 13, no. 4, p. 1–11, 2012. Available at: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63623403003>.

17. ROJAS-PRieto, Natalia Lucía. **Evaluación de dos residuos pecuarios en la elaboración de un biofertilizante empleando fermentación anaerobia**. 2020. 117 p. Tesis (Maestría em Biotecnología) - Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2020. Available at: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/6348>. Accessed on: 14 Dec. 2021.
18. SILVA, Adriane De A.; LANA, Ângela M.Q.; LANA, Regina M.Q.; DA COSTA, Adriana M. Fertilização com dejetos suínos: influência nas características bromatológicas da *Brachiaria decumbens* e alterações no solo. **Engenharia Agrícola**, vol. 35, no. 2, p. 254–265, 2015. DOI 10.1590/1809-4430-ENG.AGRIC.V35N2P254-265/2015. Available at: <http://www.scielo.br/j/eagri/a/XSQwvBPVVgDTVvk8PKnVRXwD/?lang=pt>. Accessed on: 6 Dec. 2021.
19. SILVA, Ramon Freire da; SILVA, Ivandro de França da; DIAS, Bruno de Oliveira; SILVA, Rogério Freire da; CARNEIRO, Kalline de Almeida Alves; REGO, Elizanilda Ramalho do. Nitrogen fertilization in *Brachiaria decumbens* Stapf grass under degraded soil condition. **Research, Society and Development**, vol. 9, no. 10, p. e3399108578, 29 Sep. 2020. DOI 10.33448/rsd-v9i10.8578. Available at: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/8578>. Accessed on: 6 Dec. 2021.
20. SOUZA, Flávia Martins de; LEMOS, Barbara Juliana Martins; OLIVEIRA JUNIOR, Reinaldo Cunha de; MAGNABOSCO, Cláudio Uihôa; CASTRO, Letícia Mendes de; LOPES, Fernando Brito; BRUNES, Ludmilla Costa. Introdução de leguminosas forrageiras, calagem e fosfatagem em pastagem degradada de *Brachiaria brizantha*. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, vol. 17, no. 3, p. 355–364, 2016. DOI 10.1590/S1519-99402016000300003. Available at: <http://www.scielo.br/j/rbspa/a/Kmv6HbQfCCX4dmvr7KyT6Xb/?lang=pt&format=html>. Accessed on: 7 Dec. 2021.
21. THENMOZHI, R; REJINA, K; MADHUSUDHANAN, K; NAGASATHYA, J. Study on effectiveness of various bio-fertilizers on the growth & biomass production of selected vegetables. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, vol. 6, no. 3, p. 296–301, 2010. .
22. YANG, C.; ELOUZE, W.; NAVARRO-BORRELL, A.; TAHERI, A. Esmaeili; KLABI, R.; DAI, M.; KABIR, Z.; HAMEL, C. Management of the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Sustainable Crop Production. In: SOLAIMAN, Zakaria M.; ABBOTT, Lynette K.; VARMA, Ajit (eds.). **Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration**. Springer-Verlag: [s. n.], 2014. vol. 41, p. 89–118. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45370-4_7.
23. ZHANG, Huanjun; DING, Weixin; HE, Xinhua; YU, Hongyan; FAN, Jianling; LIU, Deyan. Influence of 20-Year Organic and Inorganic Fertilization on Organic Carbon Accumulation and Microbial Community Structure of Aggregates in an Intensively Cultivated Sandy Loam Soil. **PLOS ONE**, vol. 9, no. 3, p. e92733, 25 Mar. 2014. DOI 10.1371/JOURNAL.PONE.0092733. Available at: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0092733>. Accessed on: 7 Dec. 2021.

Associação entre eficiência alimentar e ganho em acabamento de carcaça de bovinos da raça Nelore

| **Mariana Mundim Alves Gomes**
UFU

| **Carina Ubirajara de Faria**
UFU

| **Bruna Suelen Borges Resende Bezerra**
UFU

| **Joice de Medeiros Miguel**
UFU

| **Gabriel Corsino Borges**
UFU

| **Egleu Diomedes Marinho Mendes**
UCS

RESUMO

Objetivou-se estimar a associação fenotípica entre a eficiência alimentar e o ganho em acabamento de carcaça de touros jovens da raça Nelore. Utilizaram-se informações de 98 touros jovens da raça Nelore, participantes de duas provas de eficiência alimentar que empregaram o sistema de cochos eletrônicos Growsafe®, as quais foram realizadas nos anos de 2015 e 2016, na fazenda Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia. As provas de eficiência alimentar tiveram duração de 91 dias, sendo 21 dias de adaptação e 70 dias de avaliação. Os animais apresentavam idade média ao início e ao término do confinamento de 19,98 e 22,16 meses e peso inicial e final médio de 428,17 e 542,27kg, respectivamente. Verificou-se que os animais mais eficientes depositaram menos gordura, e os animais menos eficientes depositaram mais gordura durante o período de avaliação em confinamento. Observou-se que há uma associação fenotípica de baixa magnitude (0,29) entre o consumo alimentar residual (CAR) e o ganho em acabamento de carcaça (GACAB). Assim, pode-se inferir que, ao serem selecionados menores valores de CAR, haverá alguma interferência negativa em GACAB. Concluiu-se que animais mais eficientes (CAR negativo) podem apresentar menor deposição de gordura subcutânea, influenciando na qualidade de carcaça de bovinos da raça Nelore.

Palavras-chave: Consumo Alimentar Residual, Gordura Subcutânea, Bovinos de Corte.

■ INTRODUÇÃO

A agropecuária exerce funções essenciais no avanço da economia de um país, sendo elas desde o fornecimento de alimentos para a população até a geração de empregos, renda e mercado consumidor para bens industrializados (Boas..., 2007). Entre as atividades de destaque do agronegócio nacional, a bovinocultura de corte tem se sobressaído na economia brasileira e, ainda, assumindo posição de liderança no mercado mundial de exportação de carnes (Anuário..., 2017).

Apesar dos avanços na bovinocultura de corte, é imprescindível aumentar os índices de produtividade e rentabilidade do setor, equilibrando genótipo, ambiente de criação, mercado e redução de custos para se manter competitivo e economicamente atraente no mercado (Almeida, 2005). A alimentação dos animais representa o fator de maior dispêndio, o que corresponde de 70 a 90% dos custos operacionais totais, dentro do sistema de produção (Corvino, 2010). Portanto, faz-se necessário buscar estratégias de redução no consumo de alimentos na produção animal, que impactará positivamente tanto em fatores econômicos quanto em fatores ambientais. No entanto, é preciso associar mecanismos que aumentem a eficiência alimentar e que não prejudiquem características de desempenho, reprodução e qualidade de carcaça (Almeida, 2005). A eficiência alimentar em bovinos de corte é conceituada como a capacidade que o animal tem de converter o alimento ingerido em produto de origem animal, sendo em carne ou carcaça (Gomes *et al.*, 2012).

Um dos parâmetros indicadores de eficiência alimentar é o consumo alimentar residual (CAR), que foi proposto, primeiramente, por Koch *et al.* (1963). O CAR é calculado pela diferença entre a ingestão de matéria seca (IMS) observada e a IMS estimada por equação de regressão múltipla baseada no peso vivo médio metabólico e no ganho médio diário (GMD) dos animais do mesmo grupo contemporâneo (Arthur *et al.*, 2001). Assim, animais que apresentam CAR negativo são os que apresentam um consumo menor que o previsto, sendo, portanto, mais eficientes; ao contrário disso, animais de CAR positivo são aqueles que ingerem maior quantidade de matéria seca do que o esperado.

A mensuração do CAR é vantajosa e rentável para todos os sistemas de produção de carne bovina e pode ser incluída em programas de seleção, pois as estimativas de herdabilidade variam de moderada a alta (Moore *et al.*, 2009; Mcgee *et al.*, 2013; Gomes *et al.*, 2012). Dessa forma, a seleção para o CAR poderá levar à produção de animais com menor consumo de alimentos, mas, de acordo com Basarab *et al.* (2003), como consequência, poderá acarretar a seleção de animais com menor teor de gordura subcutânea. Segundo Santana *et al.* (2014), essa redução da gordura subcutânea impacta, negativamente, na qualidade da carcaça, bem como no sabor e na suculência da carne bovina. Entretanto, são escassas as informações científicas sobre as associações entre a eficiência alimentar e o

acabamento de carcaça em bovinos de corte, especialmente, na raça Nelore. Diante disso, o objetivo deste estudo foi estimar a associação fenotípica entre a eficiência alimentar e o ganho em acabamento de carcaça de touros jovens da raça Nelore participantes de provas de eficiência alimentar.

■ MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente estudo, foram consideradas as informações de 98 touros jovens da raça Nelore, puros de origem (PO), participantes de duas provas de eficiência alimentar utilizando o sistema de cochos eletrônicos Growsafe®, realizadas nos anos de 2015 e 2016, na fazenda Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia, MG. Foram avaliadas as características de consumo alimentar residual (CAR), acabamento de carcaça mensurada ao início (ACABI) e término (ACABF) do confinamento, ganho em acabamento de carcaça (GACAB), peso ao final do confinamento (PESOF), ganho médio diário (GMD) e ingestão de matéria seca (IMS). As medidas de ACAB foram avaliadas por ultrassonografia, no início e no término do experimento, sendo o GACAB calculado como a diferença dessas medidas de ACAB durante o período de confinamento.

O confinamento era estruturado em uma área de 1.680m² (42m x 40m), dividida em dois curraletes, com um bebedouro central de 2.600 litros. Cada curralete continha quatro cochos eletrônicos (com cobertura) do sistema Growsafe®. As provas de eficiência alimentar tiveram duração de 91 dias, sendo os primeiros 21 dias para adaptação dos animais à dieta e ao sistema de confinamento e os demais 70 dias para mensuração do consumo. Os animais participantes das provas representavam um grupo de contemporâneos, com idade média ao início e término da avaliação de 19,98 e 22,16 meses, respectivamente, e peso inicial e final médio de 428,17 e 542,27kg, respectivamente.

Os animais foram pesados no início e término de cada prova e, também, em intervalos de 14 dias, sem a realização de jejum. A dieta foi fornecida *ad libitum*, em forma de uma única ração total, visando a ganhos médios diários de 1,2kg/animal/dia. A formulação da ração foi de 60% de volumoso e 40% de concentrado, atendendo as recomendações do NRC (Nutrient..., 2016) para os ganhos esperados. A ração fornecida era de 60% de silagem de milho, 28% de milho moído, 8% de farelo de soja, 1% de ureia e 3% de núcleo mineral, a qual fornecia aproximadamente 13% de proteína bruta, 70% de NDT, 38% de CNF e 2,9% de EE. O manejo de arração era realizado duas vezes ao dia; diariamente se acompanhavam as sobras dos cochos e eram feitos ajustes, caso necessário, a fim de garantir sobras em torno de 5% do fornecido. Em intervalos de 14 dias, foram realizadas análises bromatológicas de MS (matéria seca).

Para a avaliação de eficiência alimentar, utilizou-se a informação de consumo alimentar residual (CAR). Conforme descrito por Gomes *et al.* (2012), o CAR é calculado como a diferença de ingestão de matéria seca (IMS_{obs}) observada durante a prova zootécnica e a ingestão de matéria seca esperada (IMS_{esp}) baseada no peso corporal e no ganho em peso. O peso vivo do animal é definido como peso vivo médio metabólico (PVMM) e foi calculado conforme descrito a seguir:

$$PVMM = \left(\frac{PVI + PVF}{2} \right)^{0,75}$$

em que: PVI é o peso vivo inicial e PVF é o peso vivo final à prova de avaliação para eficiência alimentar. As informações de ingestão de matéria seca (IMS_{obs}), ganho médio diário (GMD) e peso vivo metabólico (PVMM) de todos os animais em teste foram utilizadas para predição dos coeficientes (β) da equação de regressão linear múltipla, conforme apresentada:

$$IMS = \beta_0 + (\beta_1 \times GMD) + (\beta_2 \times PVMM)$$

Estabelecida a equação, calculou-se a ingestão de matéria seca esperada (IMS_{esp}) para cada animal. Em seguida, o cálculo do CAR (em kg) foi dado por:

$$CAR = IMS_{obs} - IMS_{esp}$$

Ao ajustar o CAR para peso vivo metabólico (PVMM), ele se torna independente dessa característica, em que, se forem selecionados animais mais eficientes para CAR, não haverá interferência no crescimento e no tamanho adulto do rebanho (Chaves, 2013). Para a mensuração do acabamento de carcaça, foram coletadas imagens de ultrassonografia por meio de um aparelho ALOKA 500 v, com sonda linear de 17,2cm, de 3,5MHz e um acoplador acústico em conjunto com um sistema de captura de imagens (Blackbox, Bionitrics, Inc., Ames, IA, EUA). As coletas de imagens foram feitas ao início e ao final do confinamento, no qual a espessura de gordura subcutânea no dorso (EG) foi medida no músculo *Longissimus dorsi*, entre a 12^a e 13^a costelas, e a espessura de gordura subcutânea na garupa (EGP8) foi medida na garupa entre os músculos localizados entre o ílio e o ísquio. Essas imagens foram coletadas e interpretadas pelo laboratório responsável pela garantia da qualidade dos dados (Aval Serviços Tecnológicos S/S). A característica ACAB é um índice que contempla 65% da EGP8 e 35% da EG.

Para a realização das análises descritivas e estatísticas, utilizou-se o programa Statistical Analysis System (SAS, 2004). Também foi utilizado o pacote Microsoft Excel para preparação do arquivo de dados e confecção de gráficos. Para a estimação dos coeficientes de correlação de Pearson entre o consumo alimentar residual e o ganho em acabamento de

carcaça, foi usado o programa Statistical Analysis System (SAS, 2004). A análise descritiva das características avaliadas é apresentada na Tab. 1.

Tabela 1. Análise descritiva das características de idade ao início (IDADE_i) e ao final (IDADE_f) do confinamento, peso inicial (PESO_i), peso final (PESO_f), acabamento de carcaça mensurado no início (ACAB_i) e no final (ACAB_f) do confinamento, ganho em acabamento nesse período (GACAB), ganho médio diário (GMD), ingestão de matéria seca (IMS) e consumo alimentar residual (CAR) em touros jovens da raça Nelore.

Variável	Média	DP	CV (%)	Mínimo	Máximo
IDADE _i (meses)	19,98	0,58	2,94	18,76	20,93
IDADE _f (meses)	22,16	0,58	2,64	21,00	23,06
PESO _i (kg)	428,17	43,29	10,11	330,00	525,00
PESO _f (kg)	542,27	53,76	9,91	425,00	672,00
ACAB _i (mm)	2,39	0,66	27,61	1,36	4,23
ACAB _f (mm)	6,41	1,43	22,31	3,50	10,95
GACAB (mm)	4,02	1,18	29,35	1,68	7,71
GMD (kg/dia)	1,74	0,26	14,94	1,03	2,28
IMS (kg de MS/dia)	10,77	1,49	13,83	6,52	14,01
CAR (kg de MS/dia)	-0,01	1,03	NA	-3,11	2,04

DP: desvio-padrão; CV: coeficiente de variação; NA: não avaliado.

Também foram elaboradas as classes de CAR, considerando-se 33 animais com CAR baixo (33,7%), 32 animais com CAR médio (32,6%) e 33 animais com CAR alto (33,7%). Com o intuito de verificar a influência das classes do consumo alimentar residual (baixo CAR, médio CAR e alto CAR) sobre o ganho em acabamento de carcaça (GACAB), foram realizadas análises de variância (ANOVA) utilizando-se o método dos quadrados mínimos, por meio do procedimento GLM (General Linear Model), em que o modelo estatístico é apresentado a seguir:

$$V_{ij} = \mu + CAR_i + e_{ij}$$

em que: y_{ij} = valor observado (ganho em acabamento de carcaça); μ = média geral da característica fenotípica; = efeito do tratamento (classes de CAR); e CAR_i = vetor de efeitos residuais. A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey, sendo considerada diferença estatística quando $P \leq 0,05$ (Zar, 1999). O mesmo procedimento ou teste estatístico foi realizado com a ingestão de matéria seca (IMS), gerando classes de IMS alto, médio e baixo.

■ RESULTADOS E DISCUSSÕES

As médias fenotípicas do ganho em acabamento de carcaça (GACAB) nas classes (baixo, médio e alto) de CAR e IMS são apresentadas na Tab. 2. Observou-se que as classes de CAR (baixo, médio e alto) influenciaram na deposição de gordura subcutânea dos animais em confinamento, ou seja, os animais mais eficientes (baixo CAR) depositaram

menos gordura, e os animais menos eficientes (alto CAR) depositaram mais gordura durante o período de avaliação em confinamento. Esses resultados corroboram os encontrados por Basarab *et al.* (2003), os quais verificaram que animais ineficientes possuem maior deposição de gordura na carcaça, tendo ocorrido propensão à menor deposição de gordura em animais de CAR negativo. Entretanto, não houve diferença estatística em relação às classes de IMS com o GACAB (Tab. 2), portanto não se verificou relação entre o consumo e a deposição de gordura subcutânea durante o confinamento.

Tabela 2. Médias fenotípicas do ganho em acabamento de carcaça obtido em mm (GACAB) em relação às classes de consumo alimentar residual (CAR) e ingestão de matéria seca em kg (IMS) de touros jovens da raça Nelore.

Classe	Nome da classe	GACAB
1	Baixo CAR	3,55 ^b
2	Médio CAR	4,07 ^{ab}
3	Alto CAR	4,43 ^a
1	Baixo IMS	3,71
2	Médio IMS	3,95
3	Alto IMS	4,38

Na Tab. 3, foram apresentadas as associações fenotípicas entre as características de consumo alimentar residual (CAR), o acabamento de carcaça avaliado ao início e ao final do confinamento ($ACAB_i$ e $ACAB_f$), o ganho em acabamento de carcaça no período de avaliação (GACAB), além das medidas de peso vivo final ($PESO_f$), ganho médio diário (GMD) e ingestão de matéria seca (IMS). Observou-se que há uma associação fenotípica de baixa magnitude entre o CAR e o GACAB, resultante da diferença de ganho mensurada no início e no término do experimento (regime de confinamento). Assim, pode-se inferir que, ao se selecionarem menores valores de CAR, haverá alguma interferência negativa em ganho em acabamento, o que corrobora os estudos de Basarab *et al.* (2003), Farjalla (2009), Nascimento (2011) e Santana *et al.* (2014).

Tabela 3. Coeficiente de correlação de Pearson (acima da diagonal) entre as medidas de acabamento de carcaça ($ACAB_i$, $ACAB_f$), o ganho total em acabamento de carcaça (GACAB), o peso final ($PESO_f$), o ganho médio diário, a ingestão de matéria seca (IMS) e o consumo alimentar residual (CAR) para touros jovens da raça Nelore. Abaixo da diagonal, estão representadas as significâncias das correlações.

	N	$ACAB_i$	$ACAB_f$	GACAB	$PESO_f$	GMD	IMS	CAR
$ACAB_i$	98	1	0,57	0,13	0,42	0,04	-0,07	-0,12
$ACAB_f$	98	<0,0001	1	0,89	0,10	0,17	0,17	0,18
GACAB	98	0,21	<0,0001	1	0,09	0,18	0,24	0,29
$PESO_f$	98	0,68	0,34	0,36	1	0,65	0,66	-0,003
GMD	98	0,67	0,10	0,08	<0,0001	1	0,51	0,002
IMS	98	0,46	0,10	0,01	<0,0001	<0,0001	1	0,69
CAR	98	0,23	0,07	0,004	0,1	0,1	<0,0001	1

Verificou-se também (Tab. 3) que, praticamente, não há associação fenotípica entre o CAR e as características de acabamento de carcaça mensuradas no início do confinamento

(ACAB_I), o peso (PESO_F) e o ganho médio diário (GMD) dos animais avaliados. Todavia, como esperado, o CAR é altamente associado com a ingestão de matéria seca (IMS). Estudos apontam que os animais mais eficientes para CAR, além de consumirem menos alimento do que o esperado em virtude de sua produção, apresentam os mesmos índices de desempenho, são menos prejudicados em condições estressantes e ainda detêm menores gastos com energia de manutenção; apesar disso, podem apresentar menor deposição de gordura na carcaça quando comparados com os animais menos eficientes.

Os resultados encontrados neste estudo (Tab. 3) corroboram os de Nkrumah *et al.* (2004) e Basarab *et al.* (2003), os quais relataram que, na avaliação de eficiência produtiva, os animais com maior porcentagem de tecido magro são considerados mais eficientes quando comparados com animais com maior proporção de gordura. Além disso, evidenciaram correlações positivas entre CAR e deposição de gordura na carcaça e correlações negativas entre CAR e deposição de tecido muscular na carcaça, ou seja, animais ineficientes depositaram mais tecido adiposo na carcaça, assim como animais eficientes depositaram maior tecido muscular. No entanto, essa propensão de animais CAR negativo depositarem menos gordura na carcaça tem se tornado preocupante para estudiosos, visto que a seleção para animais mais eficientes pode gerar uma desvantagem na qualidade de carcaça.

McDonagh *et al.* (2001) propõem que o consumo predito seja calculado também em função de gordura subcutânea como forma de rever esse ajuste, pois pode ser uma influência negativa da qualidade de carcaça. Basarab *et al.* (2003) complementaram que a inclusão dessa medida resultará em correlação dessa medida com o CAR perto de zero. Desse modo, a seleção fundamentada no CAR não conduziria uma correlação com a deposição de gordura subcutânea na carcaça. No entanto, Corvino (2010) discorda da proposta, uma vez que ele considera que não há interferência do CAR nas características de carcaça.

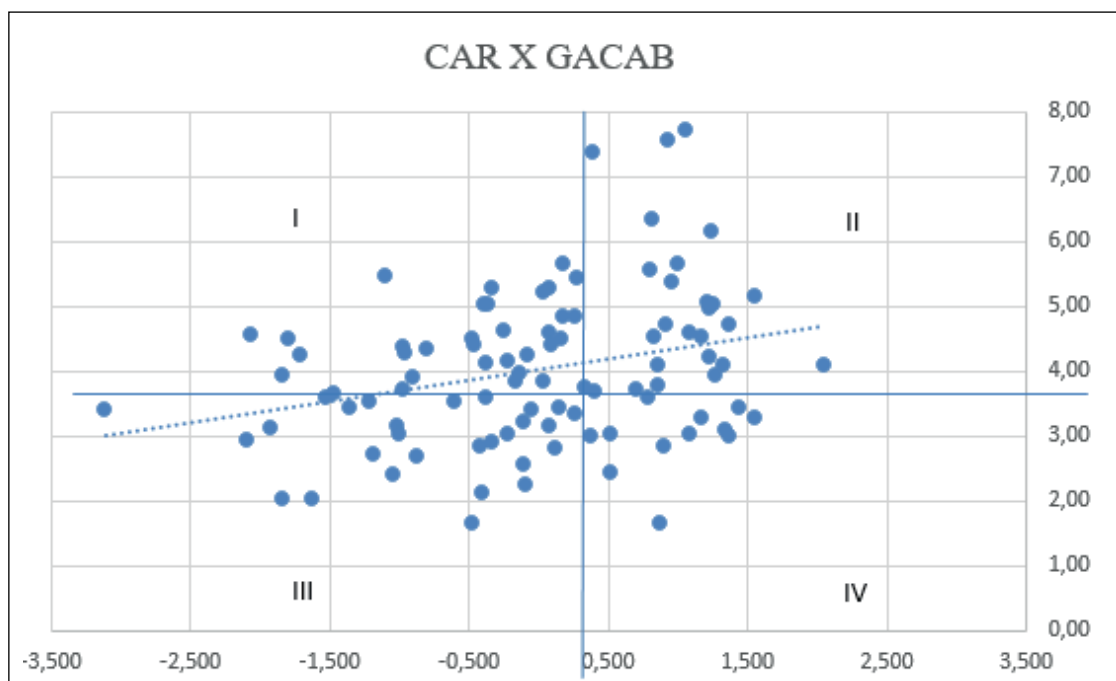
Bridi (2010) acrescenta que, à medida que o animal cresce, a sua eficiência alimentar decresce. Primeiramente, porque os requerimentos nutricionais de manutenção aumentam, já que é uma característica associada ao peso corporal, e, em segundo lugar, porque o tecido adiposo é 2,5 vezes mais caro, nutricionalmente, para ser depositado, visto que o tecido adiposo possui somente 10% de água, enquanto o tecido muscular possui 78% de água na sua composição. A eficiência de produção de proteína é 26,71% e de gordura é de 75,43%, e aproximadamente 60% da energia consumida pode ser retida como gordura e 35% da energia consumida pode ser retida como proteína. Portanto, em peso de tecido depositado, o músculo exige menos energia, já que, para cada quatro gramas de tecido muscular depositado, três gramas são de água.

Nesse contexto, Basarab *et al.* (2003) relataram que animais mais eficientes (CAR negativo) apresentaram menor consumo de energia metabolizável e menor retenção de

energia, produziram menos calor e apresentaram vísceras menores (fígado, abomaso e intestinos) quando comparados com os menos eficientes (CAR positivo). Segundo estudos de Santana *et al.* (2012), a provável menor deposição de gordura na carcaça de animais com CAR negativo insinua que a seleção para melhorar o CAR resultaria em animais com menores reservas corporais. Considerando-se matrizes, essas reservas são importantes para a manutenção, ainda mais quando criadas em regiões tropicais que são submetidas à sazonalidade de qualidade e disponibilidade de forragem. Dessa maneira, essa categoria poderia ser afetada negativamente e resultar em menores taxas reprodutivas do rebanho. Robinson e Oddy (2004) e Herd *et al.* (2004) asseguram que animais mais eficientes propendem a apresentar carcaças mais magras, com menor acabamento e com menor gordura intramuscular, além de apontar menor porcentagem de gordura abdominal.

A dispersão das informações de ganho em acabamento de carcaça (GACAB) em relação ao consumo alimentar residual (CAR) é apresentada na Fig. 1. Verificou-se uma linha de tendência crescente, ou seja, o aumento do GACAB pode proporcionar um aumento do CAR. Vale ressaltar que, no processo de seleção, objetiva-se identificar os animais do quadrante I, ou seja, animais geneticamente superiores para acabamento de carcaça (maior potencial de deposição de gordura subcutânea) e eficientes (menor consumo alimentar residual).

Figura 1. Avaliação da dispersão dos dados considerando-se o ganho em acabamento de carcaça (GACAB) e o consumo alimentar residual (CAR) de touros jovens da raça Nelore.



Recomenda-se a realização de novos estudos para comprovar se a seleção para o consumo alimentar residual (CAR) não acarreta prejuízos para o ganho em acabamento de carcaça (ACAB) em bovinos da raça Nelore.

■ CONCLUSÃO

Conclui-se que o ganho em acabamento de carcaça (GACAB) tem baixa associação positiva com o consumo alimentar residual (CAR), indicando que animais mais eficientes (CAR negativo) podem apresentar menor deposição de gordura subcutânea, influenciando negativamente na qualidade de carcaça de bovinos da raça Nelore. No entanto, no processo de seleção, objetiva-se identificar os animais geneticamente superiores para acabamento de carcaça (maior potencial de deposição de gordura subcutânea) e eficientes (menor consumo alimentar residual).

■ REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, R. *Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento*. 2005. 181f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
2. ANUÁRIO da pecuária brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2017.
3. ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; JOHNSTON, D.J. *et al.* Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other post weaning traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.*, v.79, p.2805-2811, 2001.
4. BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; ALHUS, J.L. *et al.* Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, v.83, p.189-204, 2003.
5. BOAS práticas agropecuárias de bovino de corte: sistemas de produção competitivos e acesso a mercados. Brasília: Embrapa Gado de Corte, 2007. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/7.pdf>. Acessado em: 03 mai. 2018.
6. BRIDI, A.M. Crescimento e desenvolvimento do tecido muscular. 2010. 14p. Disponível em: <http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Carnesecarcacasarquivos/Crescimentoedesenvolvimento-muscular.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2019
7. CHAVES, A.S. *Relações entre eficiência alimentar e característica de carcaça, qualidade de carne, batimentos cardíacos e consumo de oxigênio em bovinos*. 2013. 132f. Tese (Doutorado em Ciência animal e pastagens) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
8. CORVINO, T.L.S. *Caracterização do consumo alimentar residual e relações com desempenho e características de carcaça de bovinos nelore*. 2010. 92f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.
9. FARJALLA, Y.B. *Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore estratificados pela eficiência através do consumo alimentar residual*. 2009. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciência animal e pastagens) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

10. GOMES, R.C.; SANTANA, M.H.A.; FERRAZ, J.B.S. *et al.* *Ingestão de alimentos e eficiência alimentar de bovinos e ovinos de corte*. Ribeirão Preto - SP: FUNPEC-RP, 2012. 81p.
11. HERD, R.M.; ODDY, V.W.; RICHARDSON, E.C. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle.1. Review of potential mechanisms. *Aust. J. Exp. Agric.*, v.44, p.423-430, 2004.
12. KOCH, R.M.; SWIGER, L.A.; CHAMBERS, D. *et al.* Efficiency of feed use in beef cattle. *J. Anim. Sci.*, v.22, p.486-494, 1963.
13. MCDONAGH, M.B.; HERD, R.M.; RICHARDSON, E.C. *et al.* Meat quality and the calpain system of feedlot steers following a single generation of divergent selection for residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agric.*, v.41, p.103-121, 2001.
14. MCGEE, M.; WELCH, C.M.; HALL, J.B. *et al.* Evaluation of Wagyu for residual feed intake: optimizing feed efficiency, growth, and marbling in Wagyu cattle. *Prof. Anim. Sci.*, v.29, p.51-56, 2013.
15. MOORE, S.S.; MUJIBI, F.D.; SHERMAN, E.L. Molecular basis for residual feed intake in beef cattle. *J. Anim. Sci.*, v.87, p.41-47, 2009.
16. NASCIMENTO, M.L. *Eficiência alimentar e suas associações com lucro, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore*. 2011. 119f. Tese (Doutorado em Ciência animal e pastagens) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
17. NKURUMAH, J.D.; BASARAB, J.A.; PRICE, M.A. *et al.* Different measures of energetic efficiency and their phenotypic relationships with growth feed intake and ultrasound and carcass merit in hybrid cattle. *J. Anim. Sci.*, v.82, p.2451-2459, 2004.
18. NUTRIENT requirements of beef cattle. Washington: National Academies Press, 2016.
19. ROBINSON, D.L.; ODDY, V.H. Genetics parameters for feed efficiency, fatness, muscle area, and feeding behavior of feedlot finishing beef cattle. *Livest. Prod. Sci.*, v.90, p.255-270, 2004.
20. SANTANA, M.H.A.; ROSSI JUNIOR, P.; ALMEIDA, R. *et al.* Feed efficiency and its correlations with carcass traits measured by ultrasound in Nellore bulls. *Livest. Sci.*, v.145, p.252-257, 2012.
21. SANTANA, M.H.A.; GOMES, R.C.; FERRAZ, J.B.S. *et al.* Medidas de eficiência alimentar para avaliação de bovinos de corte. *Sci. Agrar. Paranaensis*, v.13, p.95-107, 2014.
22. SAS onlineDOC® 9.1.3, Cary: SAS Inst., 2004.
23. ZAR, J.H. *Biostatistical analysis*. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 960p.

Avaliação da viabilidade técnica e operacional de detecção rápida de *Salmonella*

| Larissa de Camargo Sampaio
FZEA/USP

RESUMO

A contaminação de alimentos por microrganismos patógenos é hoje uma das maiores preocupações para a saúde pública e a indústria de alimentos, considerando que todos os anos ocorre um número elevado de surtos e perdas para esse ramo do mercado. Um dos microrganismos patógenos mais presentes em alimentos contaminados é a *Salmonella*. Assim, diante dos danos consideráveis, a confirmação rápida e precisa da presença do microrganismo possibilitam ações para o controle do problema. Os métodos atuais de detecção de salmonela possuem limitações. Neste sentido, ainda não há um método de detecção que atinja todas as expectativas para um diagnóstico ideal, como por exemplo, que possua rapidez, precisão, sensibilidade, diminuto risco de erros, baixo custo e que já tenha aprovação das autoridades sanitárias. Analisar os pontos positivos e as desvantagens de cada método é essencial para direcionar novos estudos e, desse modo, desenvolver técnicas mais eficazes e completas.

Palavras-chave: *Salmonella*, ELISA, Biossensores, Detecção, PCR.

■ INTRODUÇÃO

A carne de frango, além de ter baixo custo, é rica em nutrientes. Essa condição gerou um aumento no consumo, resultando na expansão do mercado avícola. Em contraponto, com intensificação da produção, a indústria avícola tornou-se mais vulnerável a contaminação de bactérias (RISSATO *et al.*, 2011).

Entre os microrganismos mais presentes nos criadouros, estão as Salmonelas, bactérias pertencentes ao grupo Enterobacteriaceae. Consideradas patogênicas, pode causar salmonelose, infecção gerada por ingestão de alimentos contaminados (SILVA *et al.*, 2013).

Tendo em vista o considerável prejuízo ao setor e o risco a saúde do consumidor, as pesquisas sobre métodos de detecção de Salmonelas têm crescido. A confirmação da presença do microrganismo possibilita o desenvolvimento de medidas que controlem o problema (GONÇALVES *et al.*, 2015).

Dentre os métodos de detecção mais tradicionais, os testes bioquímicos apresentam-se com baixa capacidade de discriminação dos microrganismos, elevando a possibilidade de equívocos, quando realizado com número reduzido de ensaios (RIBEIRO, 2019).

A detecção de salmonela em granjas necessita ocorrer de maneira breve. Métodos de detecção como ELISA, hibridização do DNA, aglutinação em látex e imunodifusão, embora considerados rápidos tendem a apresentar problemas com sua precisão, gerando a possibilidade de resultado, falso negativo ou falsos positivos, limitando assim eficiência do método (MELO *et al.*, 2018).

A análise das variáveis limitantes de cada método, permite avaliar a viabilidade técnica, operacional e financeira dos meios de detecção. Encontrar as melhores formas de mapear o funcionamento dos atuais detectores, pode indicar como deve ser atuação de tecnologias futuras.

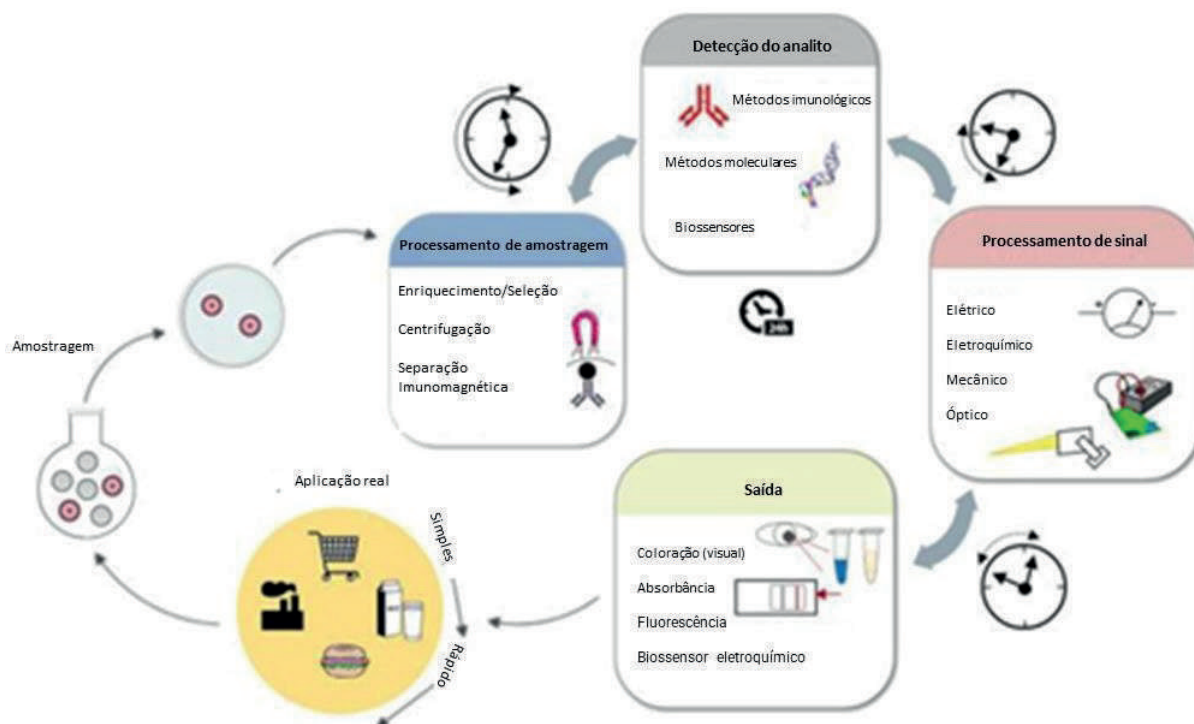
■ DESENVOLVIMENTO

O procedimento para realizar a detecção de Salmonela geralmente é realizado a partir de métodos de cultura convencionais. Essa metodologia é precisa e sensível, no entanto, pode ser necessário até 72 horas para alcançar resultados seguros (HUANG *et al.*, 2021).

Os avanços recentes no estudo sobre identificação de patógenos tem apontado possibilidades mais ágeis, com maior sensibilidade e especificidade quando comparado a métodos convencionais (MELO *et al.*, 2018). Diversos métodos rápidos foram desenvolvidos, incluindo ensaios imunológicos, ensaios moleculares, detecção baseada em espectrometria de massa, e biossensores (AWANG *et al.*, 2021). A visão geral esquemática dos principais métodos atuais, é apresentada na figura 2.

Os Biossensores são instrumentos promissores para o diagnóstico da presença de microrganismos em alimentos. Esse método possui a capacidade de detectar analitos em concentrações muito pequenas (FAROOQ *et al.*, 2018).

Figura 2. Visão geral esquemática dos métodos rápidos atuais para detecção de *Salmonella* spp em produtos alimentícios.



Fonte: Adaptado de Silva *et al.*, 2018.

DIAGNÓSTICO CONVENCIONAL

A metodologia convencional da detecção de *Salmonella* em alimentos envolve etapas de enriquecimento em meios de cultivo seletivos e é finalizada com a confirmação da presença do patógeno esperado a partir de testes bioquímicos. O processo todo requer período de tempo elevado, no entanto, entrega resultados sensíveis e assertivos (CARVALHO *et al.*, 2016).

Pré-enriquecimento

O pré-enriquecimento é a etapa inicial da identificação. Esse método tem duração de cerca de 24 horas. O processo é realizado adicionando água peptonada tamponada (BPW) a 35°C. A função desse procedimento é recuperar os organismos que sofreram danos. Dessa forma, é possível haver recuperação das células danificadas (RASAMSETTI *et al.*, 2021).

Enriquecimento

Na segunda fase da análise convencional, ocorre o enriquecimento seletivo. Esse procedimento tem como objetivo eliminar os microrganismos competidores, permitindo que

apenas *Salmonellas* se proliferem nesses caldos. O enriquecimento ocorre ao inocular o pré-enriquecido em dois caldos de enriquecimento, em seguida são incubados por 24 horas (RASAMSETTI *et al.*, 2021).

Plaqueamento Seletivo

Nessa etapa, os enriquecidos seletivos são estriados com uma alça de material níquel-cromo. O objetivo desse procedimento é observar a maneira com que o microrganismo cresce naquele meio após incubação a 35°C por 18-24h. Por exemplo, em um meio com Ágar MacConkey o crescimento esperado de colônias de *Salmonella* teria características incolores, lisas e circulares. Nesse momento, já é possível prever o resultado do diagnóstico, porém, o ideal é que sejam realizados testes bioquímicos que confirmem a suspeita (POSSEBON, 2011).

TESTES BIOQUÍMICOS

Existem diversos testes para a confirmação da presença de *Salmonellas* nos meios de cultivo analisados. Essas técnicas utilizam diferentes propriedades bioquímicas do patógeno estudado para confirmar qual a espécie presente na amostra. Os principais métodos são: Soroaglutinação, Catalase, Oxidase do citocromo C, Oxidase entre outros (RISSATO *et al.*, 2011).

DIAGNÓSTICO MOLECULAR

O ensaio de reação em cadeia da polimerase (PCR), atualmente é o método molecular mais utilizado no diagnóstico da presença de *Salmonella* em alimentos (MELO *et al.*, 2018). Esse método apresenta vantagens como alta sensibilidade, tempo inferior, comparado ao método tradicional de cultivo e o fato de não ser dependente da utilização de um substrato (RISSATO *et al.*, 2011). Os pontos fracos desses métodos são as tendências de gerarem resultados falso-positivos nos casos em que bactérias mortas estiverem presentes na amostra (HUANG *et al.*, 2021).

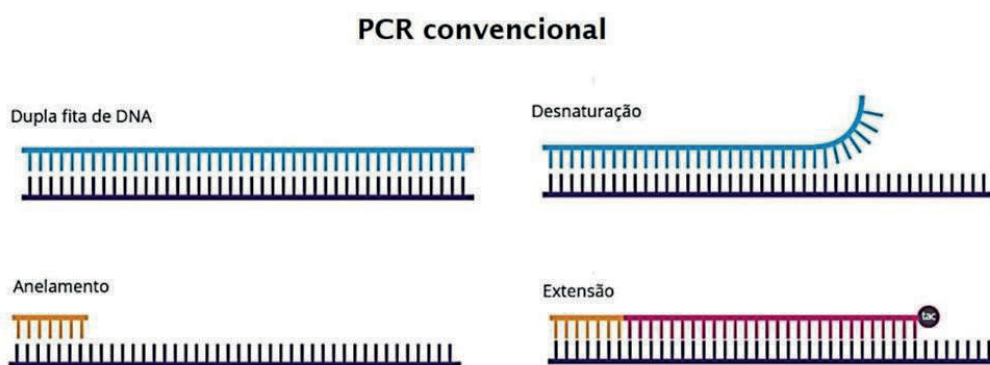
A base do funcionamento desse método é o aumento dos segmentos de DNA *in vitro*. Essa expansão exponencial possibilita formar milhares de partes idênticas, copiando uma única sequência material genético. Ao aumentar a concentração de material genético, ele é facilmente reconhecido por dispositivos como transiluminador (MELO *et al.*, 2018).

PCR Convencional

O processo de detecção pela metodologia de PCR convencional possui três etapas, desnaturação, hibridização e extensão. No passo inicial, a molécula é desnaturada, ou seja, ocorre a separação das fitas de DNA. Na fase seguinte, pequenos pedaços de fita de material genético, também conhecidas como primers, se ligam a fita de DNA que é pretendido amplificar. O método é finalizado com a ação da enzima Taq polimerase, essa é responsável por fazer a extensão da ligação entre o primer e a fita separada anteriormente. Desse modo, é formada uma nova fita dupla de DNA. A esquematização do método é apresentada na figura 4 (ANGARITA; TORRES; DÍAZ, 2017).

Esse processo é repetido por diversas vezes, até que sejam formadas milhões de cópias. Com a amplificação do material genético, é possível detectá-lo a partir de técnicas como a eletroforese em gel de agarose, esse método aponta a presença do material genético pesquisado, a partir da alteração na coloração da amostra (ANGARITA; TORRES; DÍAZ, 2017).

Figura 4. Esquematização do processo de PCR convencional.

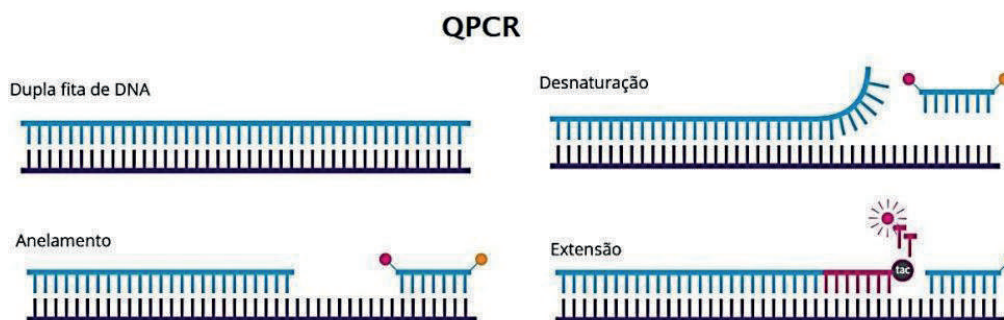


Fonte: Wada, 2020.

PCR em tempo real - qPCR

No método de detecção PCR em Tempo Real (qPCR), o resultado do teste é obtido sem a necessidade da utilização posterior de eletroforese, isso ocorre devido a utilização de sondas de hidrólise fluorogênicas na reação de PCR. Desta maneira, conforme o material genético é amplificado, o nível da coloração fluorescente aumenta de modo proporcional. Essa característica, possibilita que o teste seja utilizado tanto qualitativamente, quanto quantitativamente (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Figura 5. Esquematização do processo de PCR em Tempo Real.



Fonte: Wada, 2020.

Ribeiro *et al.*, 2016, a diluição de 1×10^{-5} UFC/mL foi o limite de detecção da técnica de PCR. Considerando essa mesma diluição no estudo de Gonçalves *et al.*, 2015, foram detectadas 2 UFC de *Salmonella* spp.

Outro critério importante para a análise de viabilidade de um sensor é o seu tempo de detecção. Segundo Corrêa *et al.*, 2018, o diagnóstico da presença de *Salmonella*, teve período de aproximadamente 43 horas, sendo essas 16 horas para o enriquecimento, 24 para o processo de enriquecimento seletivo, 1 hora para a extração de DNA, 2 horas para aplicação do PCR e 40 minutos para a eletroforese.

Quanto ao custo total da detecção por esse método, não foram encontradas especificações exatas, no entanto, Awang *et al.*, 2021, afirma que o alto custo operacionais do PCR pode ser considerado desvantagem desse método.

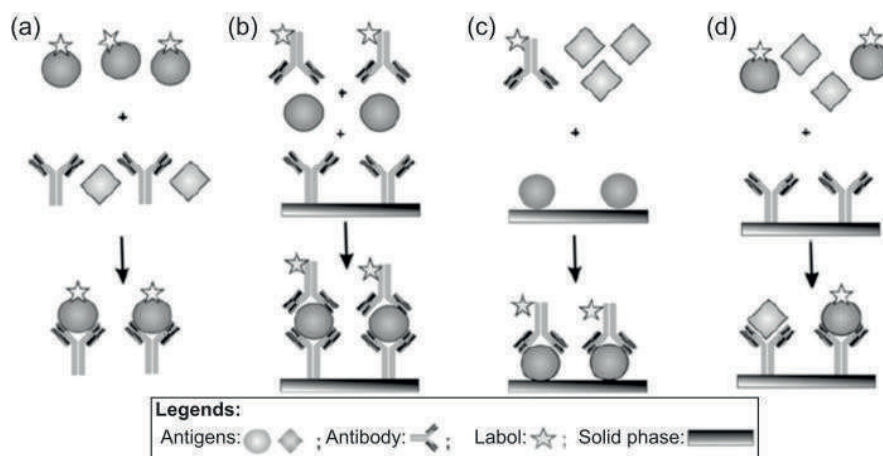
Por fim, é relevante destacar a principal limitação do método Molecular, os resultados falso-positivos. Em sua pesquisa, Furtado *et al.*, 2021, declarou que houve resultados desta característica errônea em produtos como cravo, orégano, piri-piri, cacau desnatado, ovos, gema de ovo, camarão vietnamita e canela. Reiterando a informação, segundo Ribeiro, 2019, a técnica de PCR em tempo real apresentou uma taxa de falso negativo de 19%.

DIAGNÓSTICO IMUNOLÓGICO

O principal diagnóstico imunológico é o ensaio de imunoabsorção enzimática (ELISA). Os métodos baseados em imunologia dependem de interações específicas entre antígenos e anticorpos. Esse meio de detecção apresenta como principal vantagem o fato de ser prático, rápido e sensível Huang *et al.*, 2021. Na figura 6 é possível observar o mecanismo de detecção do ELISA.

Esse método possui como desvantagem ser incapaz de distinguir bactérias vivas e mortas, além disso, a metodologia é restringida quando há baixa disponibilidade de anticorpos específicos (FAROOQ *et al.*, 2018).

Figura 6. Formatos de ELISA: (a) esquema homogêneo (b) heterogêneo não competitivo (c) (d) heterogêneos competitivos.



Fonte: MELO et al., 2018.

No imunoensaio do tipo homogêneo (Figura 6a) os anticorpos e os antígenos se encontram livres no meio. Em dado momentos eles se ligam, como consequência ocorre alteração na cor da amostra. Esse fenômeno se dá, pois quando há interação acontece uma mudança na atividade do marcador (substância responsável por indicar que houve ligação). Na maior parte das vezes, o imunoensaios são heterogêneos (Figura 6b,c,d). Nesse caso, um antígeno de *Salmonella* interage com o seu respectivo anticorpo, esse está paralisado em uma base sólida. Assim como no item anterior, a interação entre o antígeno e seu anticorpo resulta na mudança de coloração de solução (MELO *et al.*, 2018).

Atualmente existem diversos método ELISA no mercado. Dentre eles, o VIDAS utiliza um ensaio de fluorescência ligada a enzima com os respectivos anticorpos. O equipamento, faz a medição a partir do grau da intersidade da fluorência, é possível então, interpretar se há a presença do antígeno estudado. O Sistema VIDAS® pode ser reconhecido positivamente pela facilidade, simplicidade, alta sensibilidade e especificidade (VERNOZY-ROZAND *et al.*, 2004).

Segundo Farooq *et al.*, 2018, o método pode ser classificado tanto como é qualitativo, como também semiquantitativo. Além de poder ser apontado como simples, sensível e com alta especificidade. Esse conceito pode ser comprovado a partir da verificação do limete de detecção. Segundo, Wolschick, 2013, o método VIDAS® SLM é capaz de detectar até 20 UFC em concentrações de 1×10^{-5} UFC/mL.

Em relação ao tempo do processo de detecção, o método imunológico com melhor tempo foi o VIDAS® SPT, apresentando o resultado negativo da presença de *Salmonella* em 18 horas (WOLSCHICK, 2013).

Entre os testes imunológicos, também foram encontrados resultados que apontam a tendência a erros de detecção, segundo Wolschick, 2013, no estudo de amostras de linguiça suína, o método imunológico apontou para a presença de *Salmonella*, no entanto, ao ser

realizado o teste bioquímico, não houve detecção do patógeno, revelando assim a presença de um resultado falso-positivo.

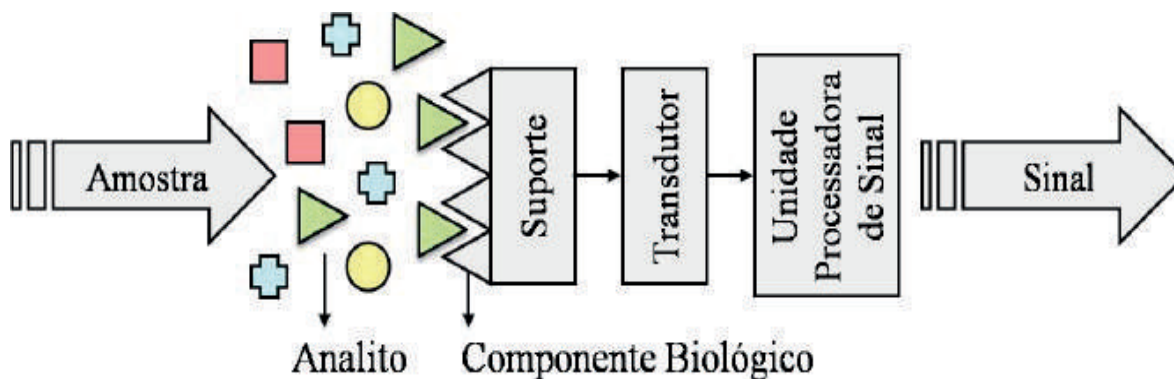
■ DIAGNÓSTICO BIOSSENSORES

Os biossensores são dispositivos com a capacidade de detecção de substâncias química ou biológicas. A análise realizada a partir dessa metodologia pode ter caráter qualitativo ou quantitativo. Por esta razão, o método poder ser aplicado em diferentes áreas, como saúde pública, conservação de alimentos, boas condições de produção alimentícia e até mesmo em setores como a preservação ambiental e prevenção contra o ataques terroristas biológicos (SILVA *et al.*, 2018).

Os métodos de detecção a partir de biossensores têm apresentado correção para as limitações dos métodos convencionais, pois se mostram mais rápidos, precisos, eficientes e com menor preço. Outra vantagem da utilização dos biossensores é a possibilidade de utilização conjunta com outros métodos como ensaio imunoenzimático e PCR. Ao aplicar um biossensor antes dessas análises, é possível limitar suas deficiências (HUANG *et al.*, 2021).

Os biossensores são formados, necessariamente, por um elemento biológico, transdutor e de parte eletrônica, como pode ser visto na figura 7 (SILVA *et al.*, 2018).

Figura 7. Esquema de componentes básicos de um biossensor.



Fonte: De Oliveira; Pereira, 2016.

O primeiro elemento essencial de um biossensor é o componente biológico, podendo ser microrganismos ou parte de matéria advindo de seres vivos, como por exemplo, anticorpos, material genético, células, organelas, enzimas e anticorpos. Quando há interação, entre o suporte sensor e o componente biológico, ocorrem alterações em propriedades dessa matéria, podendo ser: Alteração no pH, variação de massa, reação de liberação de gases, perda ou ganho de elétrons, transferência de calor, entre outros. Essas modificações na característica físico-química do material biológico é detectado e mensurado pelo transdutor. A função dessa etapa é transformar o estímulo captado em um sinal eletrônico, expresso de forma proporcional a concentração do analito presente na amostra biológica. Finalmente,

a unidade processadora, gera um sinal que posteriormente é enviado ao processamento de dados (SILVA *et al.*, 2018).

Os biossensores são classificados de acordo com a característica do seu componente biológico ou do transdutor (FAROOQ *et al.*, 2018).

Componente biológico

Enzimas

Essa proteína é consideravelmente desejável para detecção através de biossensores, devido a sua alta atividade catalítica, além de estarem disponíveis para comercialização por um preço acessível e possuir alto grau de pureza, afastando os riscos de detecção falso-positiva. No entanto, a utilização das enzimas possui como limitante a vulnerabilidade de sua atividade, as alterações em propriedades como pH, temperatura, presença de inibidores químicos, entre outros (DE OLIVEIRA; PEREIRA, 2016).

Anticorpos

São produzidos como resposta a presença de antígenos, ou corpos estranhos notados pelo sistema imunológico. Essa característica é bem utilizada em outros métodos de detecção de microrganismos, como o método ELISA. Assim como as enzimas, por serem classificados como proteínas, esses também sofrem alterações na atividade com a alteração de fatores com temperatura, pH e presença de alta força de ionização (DE OLIVEIRA; PEREIRA, 2016).

Microrganismos

A utilização de espécies microbianas como meio de reconhecimento do componente biológico, se dá pelas características do metabolismo desses microrganismos. Processos como liberação de gases permitem que os sinais sejam captados pelos transdutores. Embora bactérias tenham maior estabilidade que enzimas e anticorpos, o tempo de resposta para a detecção é consideravelmente mais lento (DE OLIVEIRA; PEREIRA, 2016).

Os biossensores também podem ser classificados conforme o método de transdução utilizado, sendo os principais os transdutores ópticos, aqueles sensíveis à massa e o sensores eletroquímicos (DAI *et al.*, 2017).

Transdutores

Biossensores óticos

O biossensores óticos, são capazes de identificar a presença de um analito a partir da emissão de um sinal de luz, podendo ser visível, como os casos de fluorescência ou até mesmo ultravioleta e infravermelho. Esses sinais são resultado de reações químicas e biológicas, e o transdutor em questão é capaz de transformá-los em sinal elétrico. A tecnologia mais comumente utilizada para captação do sinal é a partir de reações de fluorimetria, luminescência e colorimetria (PANIEL; NOGUER, 2019).

Biossensores eletroquímicos

A detecção a partir de biossensores eletroquímicos, tem apresentado crescimento exponencial em pesquisar, além de atualmente ser o método mais eficiente para detecção de microorganismos patogênicos, como é o caso da Salmonella. A apreciação da utilização desse sensor para o reconhecimento de patógenos em alimentos, se dá pela simplicidade em sua utilização, além da rapidez e do bom custo benefício. Ao contrário do que era apresentado em boa parte dos biossensores, os sensores eletroquímicos possuem custo reduzido para cada teste, no entanto, possui alto custo inicial, devido ao valor do potenciostato. Outra facilidade a ser destacada é o fato da análise poder ser realizada no local (AWANG *et al.*, 2021).

Os biossensores eletroquímicos podem ser classificados a partir dos parâmetros a serem medidos, como por exemplo, corrente elétrica, potencial, condutância e impedância (PANIEL; NOGUER, 2019).

Biossensores baseados em massa

A indentificação do sinal do transdutor baseado em baseado em massa, consiste na medição das oscilações que ocorrem na superfície de um cristal piezoelétrico a partir de variações na massa. Os principais sensores desse tipo são os de Microbalança de Cristal de Quartzo (QCM) ou os de onda acústica de superfície (SAW) (DE OLIVEIRA; PEREIRA, 2016).

O mecanismo de detecção é baseado na equação de Sauerbrey, que aponta que a frequência é inversamente proporcional à mudança de massa. Desse modo, as bactérias presentes na solução, quando ligadas aos anticorpos, aumentam sua massa e proporcionalmente reduzem a oscilação. Entre as vantagens da utilização dos biossensores baseados em massa está a alta sensibilidade e especificidade, além do fato de ser possível realizar a análise direta. Todavia, a detecção a partir de sensores piezoelétricos é um processo longo devido ao número considerável de fases de lavagem e secagem (PANIEL; NOGUER, 2019).

Diversos autores tem apontado para os biossensores como a técnica mais completa para a detecção de *Salmonella*, por possuir boa sensibilidade, simplicidade, e possibilidade de realizar o teste no local. Em seu estudo, Kim *et al.*, 2015, encontrou limite de detecção de 10^1 UFC/mL.

Ao contrário do que se pensava no passado, segundo Awang *et al.*, 2021, hoje os biossensores possuem um baixo custo por teste, no entanto, o método possui alto custo inicial, devido ao preço de instrumentos como o potenciostato. Quanto ao tempo de detecção, o mesmo autor, aponta que um biossensor pode realizar uma medição entre 3 e 5 minutos.

Ao contrário do que foi encontrado no outros métodos rápidos, os biossensores possuem resultados próximos aos métodos convencionais de cultivo de colônias, mostrando assim grande redução no risco de resultados falso-positivo (FAROOQ *et al.*, 2018).

■ CONCLUSÃO

Diante dos fatos expostos, é possível afirmar que a detecção de *Salmonella* é fator importantíssimo para a tomada de decisões para medidas que controlem os surtos e suas causas. Desse modo, é buscado um método que realize a detecção com rapidez, sensibilidade, possua baixo nível de erros e tenha liberação das autoridades sanitárias para serem utilizados. O método convencional de diagnóstico da presença de *Salmonella* em alimentos é precisa e sensível, no entanto, pode ser necessário até 7 dias para alcançar resultados seguros. O período elevado de detecção desse tipo de tecnologia impossibilita a aplicação em áreas que necessitem de tomadas de decisão imediata, como análise realizados em granjas, por exemplo.

Já o método PCR, apresenta vantagens como alta sensibilidade e rapidez, contudo, possuem tendências de gerarem resultados falso positivos. Embora essa informação aparente desvalorizar a eficiência do método molecular, esse pode ser utilizado com excelência se só for necessário apontar resultados negativos, desse modo, poderia obter sucesso se aplicado a testes de triagem de presença de *Salmonella* em alimentos.

Outro método avaliado foi o ELISA, que se apresenta como prático, rápido e capaz de identificar a presença do patógenos em pequenas concentrações, porém, também foram relatados resultados errôneos. O problema dos resultados falso positivos pode ser reduzido se houver utilização métodos bioquímicos como técnica aliada.

Recentemente, o número de pesquisas e estudos em torno dos métodos a base de biossensores vem crescendo, posto que aparentam mostrarem-se mais completos que os demais, pois além de serem rápidos, são pouco suscetíveis a erros. A problemática dessa tecnologia é a necessidade de alto investimento para a compra do equipamento. Não obstante,

o fato de se tratar de uma tecnologia recente, limita ainda mais a aplicação da detecção por biossensores em setores que exigem que os procedimentos se adequem a legislação.

É possível afirmar que os biossensores se apresentam como melhor alternativa para a detecção de patógenos como Salmonellas, contudo, ainda faz-se necessário estudos mais aprofundados que solucionem a inviabilidade financeira do método.

■ REFERÊNCIAS

1. ANGARITA, M.; TORRES, M. I.; DÍAZ, A. Técnicas de Biología Molecular en el desarrollo de la investigación. Revisión de la literatura. **Revista Habanera de Ciencias Medicas**, v. 16, n. 5, p. 796–807, 2017.
2. AWANG, M. S. et al. Advancement in salmonella detection methods: From conventional to electrochemical-based sensing detection. **Biosensors**, v. 11, n. 9, p. 1–42, 2021.
3. BELL, R. L. et al. Recent and emerging innovations in Salmonella detection: A food and environmental perspective. **Microbial Biotechnology**, v. 9, n. 3, p. 279–292, 2016.
4. CARVALHO, C. G. M. et al. Detecção de Salmonella spp por meio da reação em cadeia da polimerase (PCR) em ovos comercializados em Fortaleza, Ceará. **Nutrivisa – Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde**, v. 2, p. 113–118, 2016.
5. CORRÊA, I. M. O. et al. Comparison of three diagnostic methods for Salmonella enterica serovars detection in chicken rinse. **Pesquisa Veterinaria Brasileira**, v. 38, n. 7, p. 1300–1306, 2018.
6. DAI, F. et al. The development of methods for the detection of Salmonella in chickens by a combination of immunomagnetic separation and PCRs. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 64, n. 6, p. 888–894, 2017.
7. DE OLIVEIRA, A. E. F.; PEREIRA, A. C. Biossensores e a indústria alimentar - revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 5, p. 1311–1333, 2016.
8. FAROOQ, U. et al. Bacterial biosensing: Recent advances in phage-based bioassays and biosensors. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 118, n. July, p. 204–216, 2018.
9. FURTADO, R. et al. Comparison of ISO 6579–1, VIDAS Easy SLM, and SureFast® Salmonella ONE Real-time PCR, for Salmonella Detection in Different Groups of Foodstuffs. **Food Analytical Methods**, 7 set. 2021.
10. GONÇALVES, J. S. et al. DETECÇÃO DE Salmonella spp E Listeria monocytogenes ATRAVÉS DE TÉCNICA DE PCR. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 17, n. 4, p. 223–226, 2015.
11. HUANG, C. et al. Development of a rapid Salmonella detection method via phage-conjugated magnetic bead separation coupled with real-time PCR quantification. In: NOVA SCIENCE PUBLISHERS, I. (Ed.). **LWT**. [s.l.: s.n.]. v. 142p. 111075.
12. KIM, G. et al. A microfluidic nano-biosensor for the detection of pathogenic Salmonella. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 67, p. 243–247, 2015.

13. MELO, A. M. A. et al. **Métodos Alternativos para Detecção de Salmonella em Alimentos** Embrapa Agroindústria Tropical-Docmentos (INFOTECA-E), , 2018. (Nota técnica).
14. PANIEL; NOGUER. Detection of Salmonella in Food Matrices, from Conventional Methods to Recent Aptamer-Sensing Technologies. **Foods**, v. 8, n. 9, p. 371, 1 set. 2019.
15. POSSEBON, F. S. **Metodologia Microbiológica Convencional e Reação em Cadeia pela Polimerase (PCR) na detecção de Salmonella spp em carcaças de frango.** [s.l.] UNESP - Botucatu, 2011.
16. RASAMSETTI, S. et al. Selective pre-enrichment method to lessen time needed to recover Salmonella from commercial poultry processing samples. **Food Microbiology**, v. 99, 2021.
17. RIBEIRO, E. L. et al. Estudo comparativo e validação de três técnicas de PCR em tempo real (qPCR) para diagnóstico de Peste Suína Africana. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 36, n. 6, p. 473–478, 2016.
18. RIBEIRO, F. A. **Desempenho de métodos convencionais e alternativos para detecção de Salmonella spp. em carcaças de frango.** [s.l.] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS, 2019.
19. RISSATO, D. P. et al. DETECÇÃO DE Salmonella spp. EM ÁGUA DE LAVAGEM DE CARCAÇAS DE FRANGO UTILIZANDO O MÉTODO DE REAÇÃO EM CADEIA DA POLIMERASE (PCR). **Revista Saúde e Pesquisa**, v. 4, n. 1, p. 35–39, 2011.
20. SILVA, A. J. H. DA et al. Salmonella Spp. Um Agente Patogênico Veiculado Em Alimentos. **Climate Change 2013 - The Physical Science Basis**, v. 53, n. 9, p. 1–30, 2013.
21. SILVA, N. F. D. et al. Electrochemical biosensors for Salmonella: State of the art and challenges in food safety assessment. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 99, n. June 2017, p. 667–682, 2018.
22. VERNZOY-ROZAND, C. et al. Comparison of three immunological methods for detecting staphylococcal enterotoxins from food. **Letters in Applied Microbiology**, v. 39, n. 6, p. 490–494, dez. 2004.
23. WADA, C. **Técnica de PCR (Reação em Cadeia da Polimerase).** Disponível em: <<https://cmqv.org/tecnica-de-pcr-reacao-em-cadeia-da-polimerase/>>. Acesso em: 20 nov. 2021.
24. WOLSCHICK, J. Comparação entre os métodos Vidas® SIm e Vidas® Spt para detecção de Salmonella spp. em produtos cárneos provenientes de diferentes cidades do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 5, p. 95–101, 2013.

Bem-estar animal durante abate de aves avaliado por meio de eletroencefalograma: um referencial teórico

| **Luciana Vieira Piza**
USP

| **Ernane José Xavier Costa**
USP

| **Leonardo Thielo de La Vega**

RESUMO

O uso de tecnologias, que permitam monitoramento em tempo real, favorecem o gerenciamento de diversas ações que contribuem para agregar valor na produção, como a prática de bem-estar animal e consequente eficiência econômica, tornando essas ferramentas cada vez mais fundamentais para a sustentabilidade e o sucesso da avicultura no país. Visando reduzir as perdas produtivas e proporcionar bem-estar animal durante o processo de abate em frigoríficos, o uso da tecnologia de eletroencefalograma, que monitora a atividade cerebral, auxilia na tomada de decisão e ajuste dos melhores parâmetros, dentro dos exigidos pela legislação em vigor, tanto em abates convencionais quanto em abates religiosos, garantindo assim epilepsia generalizada e consequente redução de perdas de carcaça e aumento do rendimento do processo de abate.

Palavras-chave: Bem-Estar Animal, Eletroencefalograma, Aves.

■ INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas o Brasil se tornou o terceiro maior produtor mundial e líder em exportação de carne de frango, atendendo a mais de 140 países (EMBRAPA, 2021). As exportações, em julho de 2021, atingiram o terceiro melhor resultado da história, com mais de 424 mil toneladas de carne embarcada, número 16,4 % maior que o mesmo período do ano anterior (ABPA, 2021). De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2021), considerando os sete primeiros meses de 2021, a venda desse produto alcançou mais de 2,6 milhões de toneladas, número 7.98 % maior que o exportado no mesmo período de 2020. Em termos de receita, o valor acumulado supera os US\$ 4,2 bilhões, número 15,7 % superior ao observado no mesmo período de 2020.

No entanto, para manter-se como exportador principal de continentes como o europeu, é exigido por lei o cumprimento do Regulamento CE 1099/2009, no seu anexo I, capítulo I, quadro 2 (métodos elétricos), o qual descreve o sistema de atordoamento elétrico como sendo a **“Exposição de todo o corpo, a uma corrente que provoca um traçado epileptiforme generalizado no EEG”**, com o intuito de proteção mínima aos animais, estabelecendo parâmetros rigorosos para o atordoamento elétrico em cubas de imersão.

Adicionalmente, o Capítulo II, Quadro 2 (Tabela 1), define, para cada faixa de frequência (Hz), a quantidade de corrente elétrica (mA/ave) que deve fluir através do corpo dos animais para que o processo de insensibilização provoque traçado epileptiforme generalizado no EEG e, assim, garanta as condições mínimas de bem-estar animal no momento da morte.

Tabela 1. Requisitos elétricos para o equipamento de atordoamento em tanque de imersão, de acordo com o Regulamento Europeu (CE) Nº 1099/2009.

Frequência (Hz)	Frangos	Perus	Patos e Gansos	Codornizes
<200 Hz	100 mA	250 mA	130 mA	45 mA
De 200 a 400 Hz	150 mA	400 mA	Não autorizado	Não autorizado
De 400 a 1500Hz	200 mA	400 mA	Não autorizado	Não autorizado

Em complementação, a Organização Mundial da Saúde Animal (OIE), no Capítulo 7.5, do Código Sanitário dos Animais Terrestres, também recomenda o uso destes parâmetros elétricos para a indução de epilepsia em aves insensibilizadas em cuba de imersão.

De acordo com a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA), métodos de atordoamento eficientes perturbam o funcionamento dos neurônios e/ou dos mecanismos de regulação de neurotransmissores do cérebro, causando um estado neuronal anormal, tornando os animais inconscientes e insensíveis (EFSA, 2004). Para verificar esta condição, a eletroencefalografia (EEG) é o indicador mais confiável para avaliar a consciência e a sensibilidade das aves, uma vez que os reflexos somatossensoriais e observações

diretas não são indicadores suficientemente confiáveis de insensibilidade, em especial em sistemas de atordoamento que utilizam altas frequências (EFSA, 2013).

O cumprimento desse regulamento nas indústrias brasileiras têm resultado em uma significativa redução da qualidade da carcaça com consequentes perdas econômicas. Isso ocorre porque ao aumentar o choque elétrico para garantir o bem-estar animal e atordoar os animais, danos são observados na carcaça (LA VEGA *et al.*, 2021). O regulamento CE 1099/2009 estabelece que o choque deve ser suficiente para causar epilepsia generalizada no EEG dos animais e isso permite que, para uma dada linha de abate, exista um mínimo de choque que cause epilepsia nas aves e este mínimo implica na menor perda possível de carcaça. Este paradigma requer uma ação inovadora para as indústrias, tanto do Brasil quanto dos demais países, que é a possibilidade de validar as linhas de abate monitorando o EEG de uma amostra de aves durante o abate, podendo assim alterar os parâmetros médios dentro do estabelecido por lei, alcançando um equilíbrio entre bem-estar animal e produtividade, aumentando o rendimento de carcaça e a lucratividade dessas empresas (LA VEGA *et al.*, 2021).

Dentro desse contexto, o objetivo desse estudo é demonstrar as vantagens de aplicação do uso dessa tecnologias em frigoríficos nacionais, a fim de conciliar bem-estar animal durante o período de abate, proporcionando bons rendimentos econômicos as indústrias.

■ DESENVOLVIMENTO

Metodologia

Local

A coleta de dados desse estudo foi realizada no frigorífico COPACOL, localizado em Cafelândia – Paraná. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética para uso de animais (CEUA/USP-FZEA) sob o protocolo de número 4042150818. Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Atordoamento elétrico

Para o atordoamento elétrico das aves foi utilizado o equipamento UFX 7, da Fluxo® Eletrônica Industrial – SC/Brasil, que possui seleção da forma de onda contínua ou alternada (DC/AC), frequência variável de 20-300Hz, regulação do Duty Cycle de 10 a 90% e a tensão de saída de 10 a 350 VRMS e algumas frequências híbridas.

Coleta dos sinais cerebrais

A coleta dos sinais cerebrais foi realizada por meio de equipamento portátil de eletroencefalografia (EEG) digital sem fio. Para a coleta do EEG, foram utilizados eletrodos do tipo agulha (55% de prata, 21% de cobre, 24% zinco, com 10 mm x 1,5 mm de diâmetro) implantados no subcutâneo do escalpo das aves. Já a coleta dos sinais cardíacos foi realizada por meio de um equipamento de eletrocardiograma (ECG) também portátil, conectado via *bluetooth*. Para isso, foram usados eletrodos de contato modelo 2223BRQ da 3M®, consistindo de um dorso de espuma de polietileno, coberto com adesivo acrílico hipoalergênico em uma das faces e laminado com fita de polipropileno impresso na outra face. Três eletrodos foram dispostos junto ao corpo das aves; dois na região do peito, abaixo das asas esquerda e direita, e um (eletrodo de referência), na face externa ou dorsal da perna esquerda ou direita.

Os animais foram contidos fisicamente de forma cuidadosa para a realização do protocolo anestésico e implante dos eletrodos, na análise de EEG. Para a anestesia local, realizou-se botões anestésicos na região de colocação dos eletrodos. Utilizou-se cloridrato de lidocaína (2,00g), com vaso constritor, em solução de ringer (q.s.p.:100ml) - Lidovet® injetável. Em sequência, aplicou-se 2 eletrodos no subcutâneo do escalpo, sob a calota craniana e lobos cerebrais (2cm à direita e à esquerda da sutura sagital do crânio e transversalmente a uma linha imaginária na margem caudal dos globos oculares). Um terceiro eletrodo foi posicionado no subcutâneo da face externa ou dorsal da perna esquerda ou direita.

Os sinais de EEG de cada ave foram capturados via tecnologia *wireless* e armazenados em um computador. Estes procedimentos foram realizados de acordo com a tecnologia desenvolvida por Silva *et al.* (2005). Os dados foram analisados utilizando técnicas de processamento digital de sinais. O sinal de EEG foi coletados a uma frequência de amostragem de 120 Hz. O sinal digital obtido foi processado usando a Transformada Rápida de Fourier (FFT), implementada usando a ferramenta MATLAB® para obter o espectro de potência com 95% de intervalo de confiança, de diferentes trechos associados a diferentes eventos.

Trechos sucessivos livres de artefatos também foram analisados e filtrados nas bandas de frequência de 0.5 a 30 Hz, usando filtros elípticos integrados em um algoritmo desenvolvido no MATLAB®.

Os sinais foram coletados e avaliados conforme sugerido por RAJ *et al.* (2004), e a detecção da epilepsia foi realizada computacionalmente conforme sugerido por Franaszczuk *et al.* (1998).

Entre muitos tipos diferentes de padrões epiléticos, duas categorias de tais padrões estão majoritariamente focadas neste trabalho: o *spike-and-slow-wave-complex* (SASWC) e o *spike-or-sharp-wave* (SOSW).

Resultados

Recentemente estudos mostram a possibilidade de medir EEG em frangos. Muitos destes estudos relatam as características do EEG em animais submetidos a gases (RAJ *et al*, 1991, COENEN *et al*, 2009;) outros a choques elétricos (GREGORY AND WOTTON, 1987; PRINZ *et al*, 2010). Cabe ressaltar que todos estes estudos foram realizados com animais em condições de laboratório.

De maneira ilustrativa, a Figura 1 apresenta um exemplo do padrão epilético esperado (epilepsia grande mal) em uma ave corretamente insensibilizada após a etapa de insensibilização em cuba de imersão em frigoríficos tradicionais, onde o estado epilético é caracterizado pelo aumento da amplitude e da frequência dos sinais de EEG, avaliados a partir do espectro de frequência apresentado na Figura 2. Esta fase é seguida pelo estado de quiescência, onde amplitude e frequência decaem potencialmente durante um intervalo de tempo. Na sequência, observa-se a retomada do padrão normal dos sinais de EEG.

Figura 1. Exemplo de epilepsia em aves após a etapa de insensibilização em cuba de imersão.

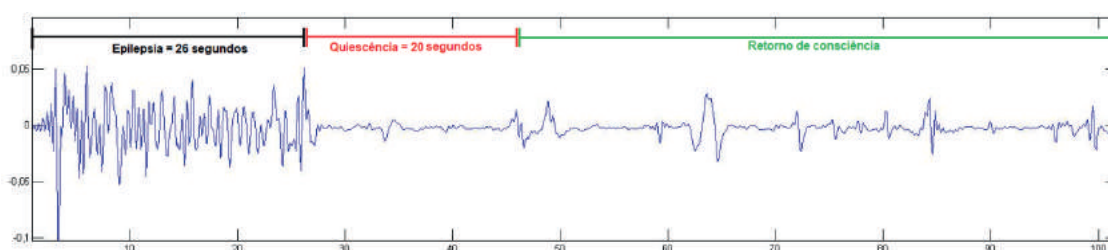
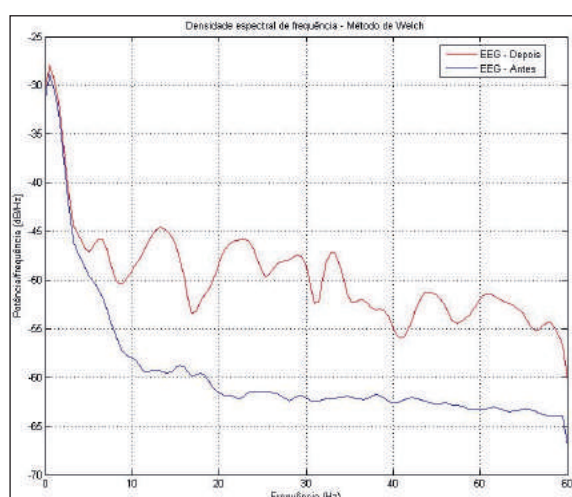


Figura 2. Exemplo de espectro de potência em uma ave antes e após a etapa de insensibilização em cuba de imersão.



Após o processamento digital dos sinais foi possível concluir que 100% das aves amostradas e testadas durante o experimento apresentaram padrão epilético logo na saída da cuba, que durou até o momento da sangria, não apresentando nenhum padrão de EEG compatível com retorno de consciência, ou seja, após a sangria o EEG evoluiu para um padrão isoelétrico.

As Figuras 3 e 4 representam a atividade elétrica cerebral antes e depois da insensibilização de uma das aves, selecionadas aleatoriamente, durante a validação na Linha 1 da COPACOL (Cafelândia – PR). O mesmo fenômeno foi observado em todas as aves amostradas.

Figura 3. EEG antes da insensibilização.

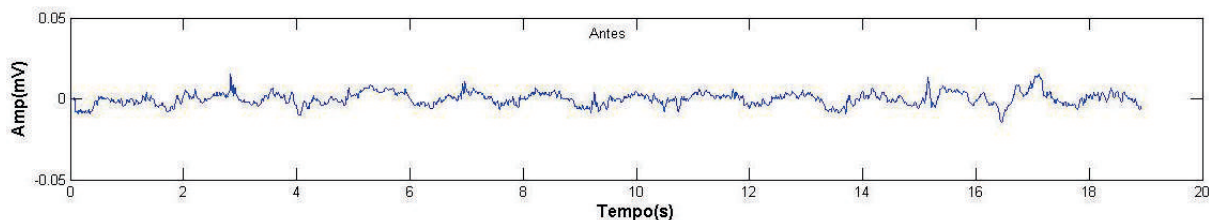
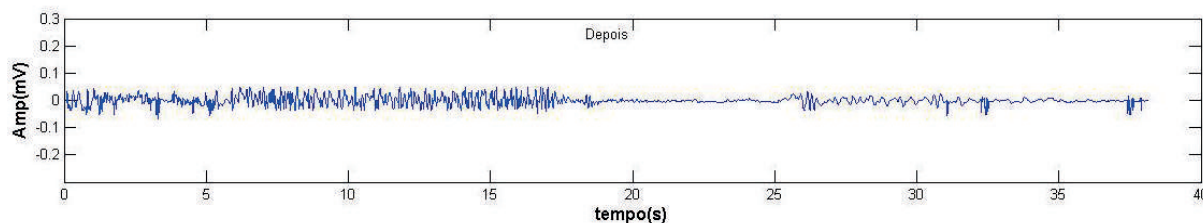
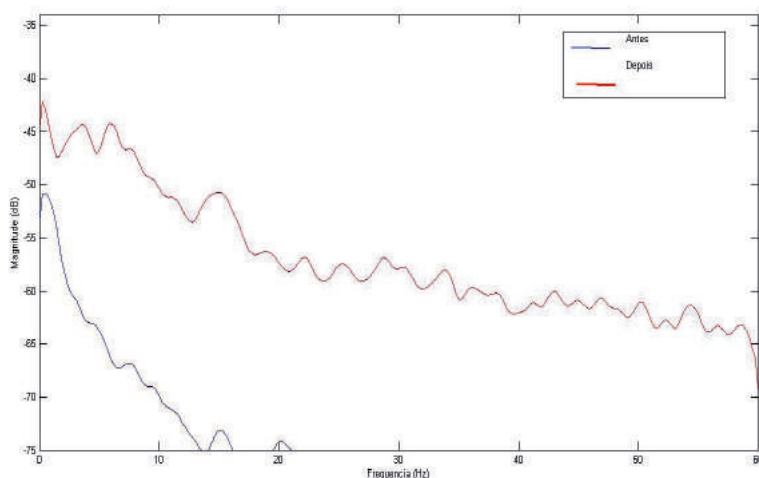


Figura 4. EEG após insensibilização.



Para todos os sinais de EEG adquirido, o espectro de potência foi calculado a fim de verificar o padrão em frequência das amplitudes que aparecem no sinal. Eventos epiléticos possuem uma distribuição em frequência diferente dos sinais cerebrais normais, se caracterizando principalmente por um aumento na intensidade das frequências. Na Figura 5 observa-se os eventos descritos acima.

Figura 5. Espectro de potência antes e depois da insensibilização.



Vale lembrar que é possível identificar epilepsia apenas pela análise dos sinais cerebrais antes e depois da insensibilização, no domínio do tempo, não havendo necessidade

de análise do espectro de potência nos casos em que a identificação do evento epiléptico é clara no traçado do EEG, contanto apenas como uma prova a mais da evidência já apresentada pelos traçados de EEG.

■ CONCLUSÃO

Os resultados observados nesse estudo comprovam a necessidade e eficiência de inovação e tecnologia para agregar valor e impulsionar a avicultura no país. Dentro desse contexto, o uso do monitoramento da atividade elétrica cerebral durante o abate proporcionou bem-estar animal, melhoria na qualidade da carcaça, diminuindo perdas de produtividade e aumentando o rendimento desse processo, sempre respeitando as normas vigentes. Sendo assim, a zootecnia de precisão se mostra um pilar fundamental dentro de um setor tão lucrativo e impactante para a economia nacional.

■ REFERÊNCIAS

1. ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. Relatório 2021. Disponível em: <https://abpa-br.org/mercados>. Acesso em: 21 nov. 2021.
2. Coenen, a. m. I; Iankhaar j.; Iowe J. C.; McKeegan. Remote Monitoring Of Electroencephalogram, Electrocardiogram, and Behavior During Controlled Atmosphere Stunning in Broilers: Implications For Welfare. **Poultry Science**, v. 88, p. 10-19, 2009.
3. EFSA (2004) Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals. **EFSA Journal** 2, 45. doi:10.2903/j.efsa.2004.45.
4. EFSA (2013) Annual Report of the EFSA Journal 2012. EFSA Supporting Publications 10,. doi:10.2903/sp.efsa.2013.EN-418.
5. EMBRAPA. Embrapa Suínos e Aves. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/mundo>. Acesso em 21 nov. 2021.
6. European Union Council (2009) 'Regulamento (CE) N. o 1099/2009 do Conselho da União Européia de 24 de Setembro de 2009 relativo à proteção dos animais no momento da occisão.
7. Franaszczuk, P. J.; Bergey, G. K.; Durka, P. J.; Eisenberg, H. M. Time–frequency analysis using the matching pursuit algorithm applied to seizures originating from the mesial temporal lobe. **Electroencephalogr Clin Neurophysiol**, v. 106, n. 6, 1998. pp. 513-521.
8. Gregory NG, Wotton SB (1987) Effect of electrical stunning on the electroencephalogram in chickens. **The British veterinary journal**, 143, 175–183.
9. La Vega, L.T ., Sato, D.; Piza, L. V ., Costa, E. J. X. (2021) Effect of electrical hybrid-frequency water bath stunning on the spontaneous electroencephalogram (EEG) and electrocardiogram (ECG) of broilers. **BioRx**.

10. OIE (2019) Terrestrial Animal Health Code 2019. Volume 1 : General provisions (World Organization for Animal Health)
11. Prinz S, Van Oijen G, Ehinger F, Bessei W, Coenen a (2010) Effects of waterbath stunning on the electroencephalograms and physical reflexes of broilers using a pulsed direct current. **Poultry Science**, 89, 1275–1284. doi:10.3382/ps.2009-00136.
12. Raj, A. B. M.; Gregory N. G.; Wotton, S. B. Changes in the somatosensory evoked potentials and spontaneous electroencephalogram of hens during stunning in argon-induced anoxia. **British Veterinary Journal**, v.147, p.322–330. 1991.
13. Raj B.M, O'Callaghan M .(2004) Effects of electrical water bath stunning current frequencies on the spontaneous electroencephalogram and somatosensory evoked potentials in hens. **British poultry science**, 45, 230–236. doi:10.1080/00071660410001715830.
14. Silva A.C.S., Céspedes Arce A.I., Souto S., Costa E.J.X. (2005) A wireless floating base sensor network for physiological responses of livestock. **Computers and Electronics in Agriculture**, 49,. doi:10.1016/j.compag.2005.05.004.

Comportamento ingestivo de novilhos terminados com casca do grão de soja e/ou grão de aveia branca

| **Álisson Marian Callegaro**
UNIPAMPA - DOM PEDRITO

| **Ricardo Lima Azevedo Júnior**
IFRS - ROLANTE

| **Ivan Luiz Brondani**
UFSM

| **Diego Soares Machado**
IFFAR - ALEGRETE

| **Dari Celestino Alves Filho**
UFSM

| **Lucas Braido Pereira**

| **Luiz Ângelo Damian Pizzuti**
UFSM

| **Daniele Borchate**

| **Amanda Farias de Moura**

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi mensurar o comportamento ingestivo de novilhos terminados exclusivamente com concentrado contendo casca do grão de soja (moída) e/ ou grão de aveia branca. Foram utilizados 32 novilhos, com predominâncias raciais Charolês ou Nelore. Os animais foram distribuídos ao acaso nos tratamentos, bloqueados conforme predominância genética e alocados em baias individuais. As dietas foram isonitrogenadas, sendo os tratamentos: Casca do grão de soja; Grão de aveia branca e a Mistura (partes iguais), acrescidos de calcário calcítico e núcleo proteico. Os animais que receberam dieta à base de casca de soja permaneceram mais tempo em ócio, comparados aos que receberam a mistura; estes, por sua vez, permaneceram mais tempo em ócio em relação aos que tiveram acesso à dieta à base de aveia branca. Os novilhos que consumiram dieta à base de casca de soja ruminaram menos tempo que os da mistura e estes, por sua vez, menos tempo que os novilhos alimentados à base de aveia branca. Dietas exclusivamente com concentrado à base de casca de soja, embora apresentem elevado teor de fibra solúvel em detergente neutro, não são suficientes para promover adequado comportamento ingestivo de novilhos de predominância racial Charolês ou Nelore.

Palavras-chave: Dieta Alto Grão, Fibra Efetiva, Fibra em Detergente Neutro, Ruminação.

■ INTRODUÇÃO

A mensuração do comportamento ingestivo é uma ferramenta que preserva o bem-estar animal e serve para auxiliar no manejo nutricional a fim de melhorar a eficiência e o desempenho produtivo dos animais, sem prejuízos econômicos. A etologia ingestiva dos ruminantes é constituída por três atividades básicas: alimentação, ruminação e ócio.

Os ruminantes procuram adequar seu consumo de alimento de acordo com suas necessidades nutricionais. Segundo Van Soest⁽¹⁾, os animais despendem aproximadamente uma hora comendo alimentos energéticos e seis horas diárias para dietas de baixo valor energético. Nesse sentido, a proporção de concentrado na dieta pode interferir na quantidade de alimento ingerido e, dessa forma, no comportamento ingestivo. Segundo Missio *et al.*⁽²⁾, à medida que aumenta a participação de concentrado na dieta, ocorre diminuição no tempo despendido com alimentação. Os mesmos autores observaram uma correlação inversa ($r = -0,77$) entre nível de concentrado na dieta e tempo gasto na ingestão de alimento.

O advento da expansão da agricultura e, assim, o estreitamento das áreas para pecuária foram fatores que acabaram proporcionando intensificação da bovinocultura de corte e a implantação de novas técnicas, como o aumento da participação de concentrado na dieta de bovinos de corte. Essa técnica apresenta como característica a baixa participação de fibra longa, em consequência o baixo teor de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva e o consumo dessa fibra é altamente correlacionado com o tempo de ruminação e pH ruminal⁽³⁾.

Agregado a isso está à possibilidade de utilizar a casca do grão de soja e o grão de aveia branca por apresentarem alta disponibilidade na maior parte do Brasil e na região sul do país, respectivamente. Esses alimentos têm características bromatológicas que permitem seu uso na dieta de ruminantes.

Embora a casca do grão de soja tenha alto teor de fibra detergente neutro, parte de sua fração fibrosa é constituída por pectina, o que lhe confere alta digestibilidade⁽⁴⁾, dessa forma pode substituir volumosos de alta qualidade, como silagens de milho e sorgo. O grão de aveia branca, em função da sua composição nutricional satisfatória, pode ser utilizado na dieta de alto grão de ruminantes⁽⁵⁾, pois não compromete o desempenho dos animais, uma vez que esse cereal possui alto teor de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva, a qual é responsável por estimular a mastigação.

Diante disso, o objetivo da presente pesquisa foi mensurar o comportamento ingestivo de novilhos terminados em confinamento exclusivamente com concentrado, tendo como base a casca do grão de soja e/ou grão de aveia branca.

■ MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Bovinocultura de Corte do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizado na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. Foram utilizados 32 novilhos, com predominâncias raciais Charolês ou Nelore, com idade e peso médio no início do período experimental, de 20 meses e 275,09 kg de peso vivo, respectivamente, oriundos do rebanho experimental do Laboratório de Bovinocultura de Corte da UFSM. O estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de animais da Universidade Federal de Santa Maria (Protocolo N° 066/2012⁽²⁾).

A terminação dos animais foi realizada em confinamento coberto com boxes de 12 m² de área, pavimentados, providos de comedouros para o fornecimento de alimentos e bebedouros com água a vontade, regulada com torneira boia. Os tratamentos foram distribuídos ao acaso, sendo alocado um animal em cada box, distribuídos conforme predomínio genético e peso inicial. Antecedendo o período experimental, os animais foram adaptados às instalações e às dietas durante 16 dias. Nesse período, foi realizado o controle de endoparasitas, com aplicação via subcutânea de produto à base de sulfóxido de albendazole (concentração de 10%), em dosagem recomendada pelo fabricante.

A dieta foi calculada, segundo o NRC⁽⁶⁾, estimando-se um consumo de matéria seca (MS) de 2,54 kg /100 kg de peso vivo (PV) e estabelecendo uma dieta isonitrogenada (Tabela 1), conforme seguem os tratamentos: Casca do grão de soja – concentrado contendo como base, a casca do grão de soja moída; Grão de aveia branca – concentrado contendo como base, o grão de aveia branca; Mistura – concentrado contendo como base, em partes iguais, casca do grão de soja e grão de aveia branca (Tabela 1), todos acrescidos de calcário calcítico mais núcleo proteico.

Durante o período experimental, os animais foram alimentados duas vezes ao dia, pela manhã às 8:30 horas e pela tarde às 14 horas. O núcleo proteico e o calcário calcítico foram fornecidos no comedouro sobre o ingrediente base a ser testado, e a homogeneização feita logo após. Diariamente, antes do primeiro fornecimento, eram coletadas as sobras do dia anterior e o valor anotado em planilha para fins de cálculo de consumo de matéria seca e fibra em detergente neutro. A oferta de alimento foi pré-estabelecida entre 50 e 100 g/Kg superior ao consumo voluntário e foi regulada de acordo com o consumo dos animais no dia anterior.

Amostras dos ingredientes das dietas e das sobras da alimentação foram retiradas duas vezes por semana, sendo que estas foram bem homogeneizadas para melhor amostragem. Essas amostras foram submetidas à pré-secagem em estufa de ar forçado a uma temperatura de 55 °C durante 72 horas e, após, foram moídas em moinho tipo “Willey” com peneira de crivos de 1 mm e acondicionadas em embalagens plásticas para posteriores análises em laboratório.

A coleta de dados do comportamento ocorreu durante o período experimental (109 dias). Foram distribuídos em quatro momentos, sendo dois dias para cada um. As observações do comportamento ingestivo consistiram nos registros das informações dos tempos diários despendidos com alimentação, ruminação e ócio, em pé ou deitado (para direita ou esquerda), tomadas a cada cinco minutos por observadores treinados.

Tabela 1. Participação dos ingredientes (matéria natural) e composição bromatológica (matéria seca) das dietas.

Ingredientes, g/kg concentrado (matéria natural)	Tratamentos		
	Casca do grão de soja	Mistura	Grão de aveia branca
Grão de aveia branca	-	418,0	840,0
Casca do grão de soja	834,0	418,0	-
Calcário calcítico	41,0	47,0	52,0
Núcleo proteico	125,0	117,0	108,0
Composição Bromatológica, g/kg matéria seca			
Matéria seca, g/kg matéria natural	901,18	906,49	911,75
Proteína bruta	154,35	154,32	154,16
Extrato etéreo	13,48	31,12	48,73
Matéria mineral	103,56	101,83	98,90
Fibra em detergente ácido	407,64	278,09	149,63
Fibra em detergente neutro	593,80	424,63	256,93
NIDA	5,11	2,97	0,86
NIDN	9,57	6,88	4,21
Hemicelulose	186,16	146,54	107,30
Celulose	355,11	221,15	88,22
Lignina	20,10	30,80	41,40
Nutrientes digestíveis totais	612,11	662,89	724,16
DIVMO	781,65	724,34	668,54

NIDA / N= nitrogênio insolúvel em detergente ácido / neutro; DIVMO= digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica após 72 de incubação

O comportamento foi realizado durante 48 horas consecutivas, sendo que, durante a noite, as instalações eram mantidas com iluminação artificial. O número de mastigações meréricas por bolo ruminal (NMMB) e o tempo despendido na mastigação merérica por bolo ruminal (TMMB) foram obtidos através de observações por animal em cada período de avaliação. Para registro do TMMB, utilizou-se um cronômetro digital. Os dados do comportamento ingestivo foram interpretados conforme Bürger *et al.*⁽⁷⁾, no qual: ERMS=CMS/TRT; ERFDN=CFDN/TRT; TMT=TA+TRT; NBOLO=TRT/TMMB; NMMD=NMMB*NBOLO; TOT=TOE+TOD e TRT=TRE+TRD; em que:

ERMS = eficiência de ruminação de matéria seca, g MS/h; CMS = consumo de matéria seca, g MS/dia; ERFDN = eficiência de ruminação da fibra em detergente neutro, g FDN/h; CFDN = consumo de fibra em detergente neutro, g FDN/dia; TMT = tempo de mastigação total, h/dia; TA = tempo de alimentação total, h/dia; tempo de ruminação total, h/dia; NBOLO

= número de bolos mastigados por dia, n°/dia; TMMB = tempo de mastigação merícica por bolo ruminal, seg/bolo; NMMD = número de mastigadas merícicas por dia, n°/dia; TOT = tempo de ócio total, h/dia; TOE = tempo de ócio em pé, h/dia; TOD = tempo de ócio deitado (para esquerda ou direita), h/dia; TRT = tempo de ruminação total, h/dia; TRE = tempo de ruminação em pé, h/dia; TRD = tempo de ruminação deitado (para direita ou esquerda).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (predominância racial), com três tratamentos e número variável de amostras por tratamento, totalizando onze animais no período de adaptação, já no período experimental dez animais para o tratamento casca do grão de soja e onze para os tratamentos grão de aveia branca e mistura, sendo o animal a unidade experimental. No decorrer do período experimental, um animal não consumiu mais e veio a óbito.

Os dados analisados de cada unidade experimental correspondem às médias das avaliações de cada animal nos dias de coleta de dados do comportamento ingestivo. As variáveis foram testadas quanto à normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste F, pelo PROC MIXED, e o critério para escolha da melhor estrutura de covariância foi o AIC, e, quando detectadas as diferenças entre as médias, estas foram comparadas pelo teste “t” em 5% de significância. O modelo matemático da análise de variância corresponde ao modelo linear geral:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau_i * \beta_j) + \varepsilon_{ij}$$

Pelo modelo, Y_{ij} representa as variáveis dependentes; μ é a média de todas as observações; τ_i corresponde ao efeito dos tratamentos; β_j corresponde ao efeito das predominâncias raciais; $\tau_i * \beta_j$ corresponde ao efeito da interação entre o tratamento i com a predominância racial j (erro a); ε_{ij} corresponde ao erro experimental residual.

Também foi realizado teste de correlação de Pearson pelo procedimento PROC CORR.

Para análise dos dados de presença dos animais ao comedouro, o delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com fatorial 3 x 24 (3 tratamentos e 24 horas). De acordo com o seguinte modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \omega_j + (\tau_i * \omega_j) + \varepsilon_{ij}$$

Em que Y_{ij} representa as variáveis dependentes; μ é a média de todas as observações; τ_i corresponde ao efeito dos tratamentos; ω_j corresponde ao efeito das horas; $\tau_i * \omega_j$ corresponde ao efeito da interação entre tratamento i e hora j e ε_{ij} corresponde ao erro experimental residual. Os dados foram analisados com auxílio do pacote estatístico SAS(8).

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os novilhos pertencentes ao tratamento casca de soja gastaram maior tempo ingerindo alimento do que os animais que receberam mistura e, por sua vez, despenderam maior tempo que os animais que receberam grão de aveia branca ($P<0,05$; Tabela 2). Esse resultado é consequência da densidade específica ($\text{kg (m}^3\text{)}^{-1}$) do ingrediente casca de soja (Tabela 1), que proporcionou menor taxa de bocado.

Os novilhos que consumiram dieta à base de casca de soja apresentaram menor ($P<0,05$) tempo de ruminação total (69 min) em relação aos animais do tratamento mistura (217 min) e estes em comparação ao grão de aveia branca (343 min). Esses valores representam menos de 25% do tempo do dia envolvido com essa atividade. Fazendo um paralelo, Missio *et al.*(2) verificaram valores de 37,33; 37,16; 30,26 e 25,50% do tempo do dia dos novilhos envolvidos com ruminação, recebendo dietas com 78, 60, 41 e 21% de volumoso e 22, 40, 59 e 79% de concentrado, respectivamente, e Neumann *et al.*(9) observaram 37%, para dieta contendo 55% de concentrado e 45% de feno de aveia. Dessa forma, dietas que apresentam em sua composição volumoso tendem a necessitar de maior tempo de ruminação.

Tabela 2. Atividades comportamentais de novilhos alimentados com dietas exclusivamente concentrado em confinamento.

Atividade, minutos	Tratamento			P
	Casca do grão de soja	Mistura	Grão de aveia branca	
Tempo de alimentação	207,18 $\pm$ 8,50a	159,51 $\pm$ 8,01b	123,07 $\pm$ 8,01c	0,0001
Ruminação total	69,24 $\pm$ 13,40c	217,19 $\pm$ 12,58b	343,80 $\pm$ 12,58a	0,0001
Ruminação deitado total	67,38 $\pm$ 12,89c	207,45 $\pm$ 12,10b	301,86 $\pm$ 12,10a	0,0001
Ruminação deitado direita	23,88 $\pm$ 7,34b	54,45 $\pm$ 6,88b	145,72 $\pm$ 6,88a	0,0001
Ruminação deitado esquerda	52,71 $\pm$ 9,97b	138,35 $\pm$ 9,36a	150,43 $\pm$ 9,36a	0,0001
Ruminação em pé	1,90 $\pm$ 4,84b	9,81 $\pm$ 4,54b	41,97 $\pm$ 4,54a	0,0003
Ócio total	1164,01 $\pm$ 18,37a	1061,61 $\pm$ 17,24b	971,61 $\pm$ 17,24c	0,0001
Ócio deitado direita	452,52 $\pm$ 23,93a	420,38 $\pm$ 22,55a	302,25 $\pm$ 22,55b	0,0002
Ócio deitado esquerda	425,97 $\pm$ 17,57a	375,37 $\pm$ 16,48b	287,98 $\pm$ 16,48c	0,0001
Ócio deitado total	873,53 $\pm$ 34,56a	797,33 $\pm$ 32,56a	592,20 $\pm$ 32,56b	0,0001
Ócio em pé	283,14 $\pm$ 31,22b	264,90 $\pm$ 29,47b	382,0 $\pm$ 29,47a	0,0162

P = Probabilidade / a, b, c - médias com diferenças significativas ($P<0,05$) apresentam letras distintas na linha

O tempo dedicado à ruminação está relacionado à quantidade e qualidade da dieta consumida⁽¹⁰⁾. O menor tempo de ruminação total observado para os novilhos dos tratamentos casca de soja e mistura está relacionado ao teor de fibra fisicamente efetiva dessas dietas, pois embora tenham alto teor de fibra em detergente neutro, a fibra proporcionada pelo ingrediente casca de soja não é suficiente para promover a ruminação. Esse comportamento é decorrente do pequeno tamanho de partícula apresentado pelo ingrediente casca de soja⁽¹¹⁾. Segundo o NRC⁽⁶⁾, a fibra fisicamente efetiva é calculada de acordo com a percentagem de fibra em detergente neutro que fica retida na peneira de 1,18 mm após separação vertical. A ausência dessas partículas não estimula a ruminação, produção de bicarbonato pela saliva, o qual é um tamponante⁽¹²⁾, não estabelece uma estratificação bifásica do conteúdo ruminal e, assim, não contribui para formação de uma camada flutuante de partículas grandes, chamada de mat, sobre um pool de líquido e partículas pequenas⁽¹¹⁾.

A falta de fibra fisicamente efetiva no ingrediente casca de soja (2%), é observada ao comparar com o grão de milho moído (alimento base de dietas de alto concentrado) que apresenta 4,3%⁽¹¹⁾, principal motivo que explica o menor tempo de ruminação total dos bovinos alimentados à base da casca de soja (Tabela 2).

Outro motivo que contribui para o comportamento dos animais do tratamento casca de soja apresentar menor tempo envolvido com a atividade de ruminação total (deitado para o lado direito e para o esquerdo) comparado ao tratamento aveia branca ($P < 0,05$) pode estar relacionado à alta digestibilidade da casca de soja. De modo geral, os bovinos não têm preferência por ruminar de um lado ou de outro; entretanto, no presente estudo foi observado que os bovinos optaram pelo lado direito. Esse fato pode estar relacionado ao timpanismo gasoso observado durante a avaliação visual do comportamento ingestivo, consequência da alta ingestão de concentrado e da alta produção de ácidos graxos de cadeia curta, o que reduz o pH ruminal e facilita o desenvolvimento de bactérias produtoras de ácido lático⁽³⁾. Essas observações foram ratificadas durante a coleta de dados do comportamento ingestivo, em que foi observada a distensão da fossa paralombar esquerda, característico de timpanismo. Com o intuito de proporcionar expulsão do ar e facilitar a eructação, os bovinos dos tratamentos que incluem o ingrediente casca de soja demonstraram permanecer maior parte do tempo ruminando deitados para o lado esquerdo comparado ao lado direito.

A fibra fisicamente efetiva além da função de estimular a mastigação, ruminação e a salivação também desencadeia a motilidade ruminal, importante para aumentar o contato do substrato com as enzimas extracelulares dos microrganismos do rúmen⁽¹³⁾. Kononoff⁽¹⁴⁾ descreve que a falta de fibra longa resulta na chamada síndrome, que é a falha ou ruminação diminuída, dificuldade em eructação, muitas vezes causando timpanismo ou inchaço, redução no consumo de alimentos e apetite depravado.

As propriedades físicas das dietas para ruminantes são afetadas pelas proporções de volumosos e concentrados, tipo de forragem e concentrado, proporções de fontes de fibra de não forragem triturada, tamanho das partículas e processamento dos ingredientes das rações⁽¹¹⁾. As fontes de fibras que não são oriundas de forragens são subprodutos de plantas produzidos pela extração de amido, açúcar, lipídios, ou outros constituintes de valores não fibrosos. Esses subprodutos podem ter conteúdos de fibra em detergente neutro semelhante às forragens grosseiras, como do caso da casca de soja, porém, o tamanho das partículas é semelhante ao concentrado.

Os animais que receberam dieta à base de casca de soja mantiveram-se maior tempo em ócio (1164 min), comparados aos novilhos que receberam mistura (1061 min), estes por sua vez permaneceram maior tempo que os novilhos que tiveram acesso à dieta à base de grão de aveia branca (971 min) ($P<0,05$; Tabela 2). Esse comportamento observado é reflexo das demais atividades (tempo de alimentação e ruminação total), pois o tempo de alimentação dos animais também apresentou mesmo comportamento que o tempo de ócio total, porém o tempo envolvido com ruminação demonstrou comportamento inverso às variáveis citadas anteriormente ($P<0,05$), sendo o valor da correlação de -0,45 com o tempo de alimentação ($P<0,001$). Carvalho *et al.*⁽¹⁵⁾ destacam que os animais submetidos a dietas de alto grão dispõem de alto período de tempo para realização de outras atividades.

Os novilhos submetidos aos tratamentos mistura e aveia branca mastigaram maior número de vezes e permaneceram maior tempo mastigando o bolo ruminal, comparados aos animais do tratamento casca de soja ($P<0,05$), sendo o valor médio de 69,08 vs. 42,02 mastigadas; 74,68 vs. 47,05 segundos, respectivamente (Tabela 3). O tempo de mastigadas por bolo foi altamente correlacionado com o número de mastigadas por bolo ($r=0,96$; $P<0,0001$). Bürger *et al.*⁽⁷⁾ observaram 51,47 mastigadas por bolo ruminal regurgitado por novilho alimentado com dieta com 90% de concentrado. O tempo de mastigação tem sido das medidas mais estudadas para avaliar a efetividade da fibra⁽¹³⁾. Carvalho *et al.*⁽¹⁶⁾ verificaram que o tempo de ruminação e mastigação diminui de forma linear com a substituição crescente da casca do grão de soja pela silagem de sorgo.

Diante disso, quando a percentagem de FDN da dieta for inferior a 60%, a forragem dietética residual deve ter tamanho de partícula suficiente para promover a mastigação, porque a maioria das fontes de fibra de não forragem não estimula a mastigação tão efetivamente quanto a forragem longa⁽¹⁷⁾.

Os resultados obtidos ratificam a importância de estudar a efetividade da fibra, pois os tratamentos com maior teor de fibra em detergente neutro na dieta (59,38; 42,46 e 25,69%; casca de soja, mistura e aveia branca, respectivamente) não proporcionaram maior tempo

de ruminação aos novilhos ($P>0,05$), demonstrando que a fibra em detergente neutro não é parâmetro para promover ruminação.

Fatores intrínsecos à casca de soja, como a rápida taxa de digestão e fatores extrínsecos, como pequeno tamanho de partícula e peso específico, podem ter contribuído para o menor tempo de mastigação (Tabela 3) e ruminação (Tabela 2). Por outro lado, o maior tamanho do grão de aveia branca, o qual foi fornecido de forma integral pode ter contribuído para o maior tempo de mastigação do bolo alimentar. Em consonância a isso, quase que a totalidade dos ingredientes (núcleo proteico e grão de aveia branca) da dieta, desse tratamento, apresentavam partículas superiores a 1,2 mm, as quais são responsáveis por promover a mastigação. De acordo com Berchielli *et al.*⁽³⁾, o consumo de cereais inteiros em vez de triturados pode aumentar o tempo destinado à mastigação durante seu consumo e ruminação. Nesse contexto, animais ruminantes podem reduzir a duração do tempo diário destinado à mastigação pelo aumento da eficiência na redução das partículas.

Aliado a isso, a casca de soja caracteriza-se por apresentar digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica semelhante à de alimentos nobres como o milho e o farelo de soja, além de ter na sua fração fibrosa a pectina que apresenta alta degradabilidade, o que contribui para maior digestibilidade da parede celular comparado aos alimentos citados⁽¹⁸⁾. Também está presente na parede celular vegetal, a celulose e a hemicelulose, que ocupam espaço no trato digestivo e exigem mastigação para redução no tamanho de partícula e a passagem através do trato digestório⁽³⁾. Embora a participação de hemicelulose na dieta tenha sido maior para os novilhos do tratamento à base de casca de grão de soja, não se refletiu na atividade de mastigação, fato que pode ter sido reflexo da presença de pectina.

Os novilhos alimentados com dieta exclusivamente com concentrado à base da casca de soja regurgitaram menor número de bolos e assim ruminaram menor número de bolos por dia em relação aos animais dos tratamentos mistura, que por sua vez foi menor que nos animais do tratamento aveia branca ($P<0,05$; Tabela 3). Esse resultado ocorreu em decorrência do menor teor de fibra fisicamente efetiva na dieta contendo casca de soja, o que promoveu menor repleção do conteúdo ruminal e assim menor ruminação. Essas informações são ratificadas pela teoria já mencionada, de que a casca de soja apresenta fibra altamente digestível e seu tamanho de partícula inferior pode ter favorecido a digestão e passagem pelo rúmen-retículo.

Tabela 3. Atividade inerentes à ruminação de novilhos alimentados com dietas exclusivamente com concentrado em confinamento.

Variável	Tratamento			P
	Casca do grão de soja	Mistura	Grão de aveia branca	
Número de mastigadas/bolo	42,02±4,05b	68,70±3,79a	69,46±3,79a	0,0001
Tempo de mastigadas/bolo, segundos	47,05±4,30b	73,27±4,04a	76,09±4,04a	0,0001
Número de bolos ruminados/dia	91,76±18,51c	186,94±17,30b	282,75±17,30a	0,0001
Número de mastigadas/minuto	53,30±1,07	56,37±1,00	54,95±1,00	0,1328
Número de mastigadas ruminativas/dia	3896,5±857c	12294,0±800,42b	18922,0±800,42a	0,0001

P = Probabilidade / a, b, c – médias com diferenças significativas ($P < 0,05$) apresentam letras diferentes na linha

Era esperado que tivesse correlação entre o tempo de alimentação e consumo de matéria seca, fato que não ocorreu ($P = 0,1268$), pois normalmente, quanto maior o tempo de alimentação, maior é o consumo de alimento. O consumo de matéria seca (kg/dia) não foi afetado pelos tratamentos ($P > 0,05$; Tabela 4), sendo o valor médio observado de 7,87 kg/dia. Em contrapartida, o consumo de fibra em detergente neutro teve comportamento decorrente da composição bromatológica da dieta, na qual os animais alimentados com casca do grão de soja apresentaram maior ($P < 0,05$) consumo de fibra em detergente neutro, sendo este consumo superior a 22,2 e 113,0%, respectivamente, em relação aos tratamentos com mistura e grão de aveia branca.

No presente estudo, o consumo de matéria seca esteve correlacionado positivamente com o consumo de fibra em detergente neutro ($r = 0,44$; $P < 0,0001$). Normalmente acontece o contrário, dietas com maior teor de fibra em detergente neutro proporcionam menor consumo de matéria seca. Conforme Mertens *et al.* (11), o consumo de fibra em detergente neutro acima de 12 g por kg de peso vivo limita o consumo de matéria seca. Aliado a isso, existe uma forte correlação positiva entre pH ruminal da forragem ($r = 0,63$) ou de fibra fisicamente efetiva ($r = 0,71$), pois indica que, quanto maior o consumo de fibra em detergente neutro ou fisicamente efetiva, maior é o pH ruminal⁽³⁾. Essa informação não se ratifica na presente pesquisa, pois a dieta mais fibrosa (casca do grão de soja), com maior teor de fibra em detergente neutro (59,38%), apresentou valor do pH ruminal verificado ao longo do dia, abaixo de 5,6, sendo mais um indicativo de falta de fibra fisicamente efetiva. Nesse caso, o pH baixo é decorrente de maior produção de ácido lático, que excede a capacidade de absorção do epitélio ruminal⁽¹⁹⁾, que leva a uma alteração no equilíbrio ácido-base, consequentemente

a uma acidose ruminal subaguda, conforme López *et al.*⁽²⁰⁾, é fruto do decréscimo brusco do pH de 5,5 para 5,0 e mantido por 111 a 180 minutos em 24 horas. A acidose ruminal subaguda é um problema comum de saúde e produção que ocorre em bovinos submetidos a dietas pobres em fibras⁽²¹⁾.

Tabela 4. Consumo e eficiência de ruminação da matéria seca (MS) e da fibra em detergente neutro (FDN) de novilhos terminados em confinamento com dietas exclusivamente com concentrado.

Variáveis	Tratamento			P
	Casca do grão de soja	Mistura	Grão de aveia branca	
Consumo de matéria seca, kg/dia	7,35±0,362a	8,41±0,341a	7,87±0,341a	0,1231
Consumo de fibra em detergente neutro, kg/dia	4,90±0,18a	4,01±0,17b	2,30±0,17c	0,0001
Eficiência de ruminação da MS, g/h	10618±809a	2531±743b	1448±743b	0,0001
Eficiência de ruminação da FDN, g/h	7137±529a	1208±486b	428±486b	0,0001

P = Probabilidade / a, b, c - médias com diferenças significativas ($P < 0,05$) apresentam letras distintas na linha

A eficiência de ruminação da dieta, expressa em g MS/h, aumentou com o acréscimo do teor de fibra em detergente neutro na ração ($P < 0,0001$), apresentando o mesmo comportamento quando expressa em g FDN/h (Tabela 4). A eficiência de ruminação da FDN apresentou comportamento diretamente proporcional ao consumo de fibra em detergente neutro consumido, pois quando maior foi o teor dessa fração maior foi a eficiência de ruminação ($r = 0,35$; $P < 0,0001$). Outro fator que contribuiu para esse resultado foi o menor tempo de ruminação das dietas com maior teor de FDN (69,24; 217,19; 343,80 min para casca de soja, mistura e aveia branca, respectivamente). Normalmente acontece o contrário: dietas com maior participação de concentrado, logo, menor teor de FDN, tendem a proporcionar maior eficiência de ruminação da matéria seca e menor eficiência de ruminação de fibra em detergente neutro, de formas lineares^(2,7). Assim, à medida que aumenta a fração de concentrado, ocorre diminuição da participação de bactérias celulolíticas, aumentando as amilolíticas e, também, a participação do concentrado no bolo ruminal regurgitado, atribuindo melhor eficiência de ruminação da matéria seca.

O resultado da presente pesquisa, oposto à literatura, mostra que a maior eficiência de ruminação da FDN está relacionada ao consumo dos componentes da parede celular (hemicelulose e celulose), o qual foi maior para o tratamento casca de soja, intermediário para mistura e menor para a aveia branca. Embora a hemicelulose e a celulose precisem ser mastigadas para redução do tamanho de partículas e passagem através do trato digestivo,

são frações potencialmente digestíveis, permitindo ao animal regurgitar menor número de bolos, mastigar menor número de vezes por bolo, como também gastar menor tempo mastigando (Tabela 3).

Missio *et al.*⁽²⁾ averiguaram decrescentes relações de volumoso: concentrado na dieta de novilhos, com predominâncias raciais semelhantes à desta pesquisa. No nível mais alto de concentrado (79%), com teor de 16,5% de FDN, observaram eficiência de ruminação da matéria seca e da FDN, de 1110 g e 217 g/hora, respectivamente. Esses valores são mais próximos aos encontrados no tratamento com aveia branca, com 25,69% de FDN. Nesse sentido, Bürger *et al.*⁽⁷⁾ investigaram também diferentes relações de volumoso: concentrado, até o nível de 90% de concentrado na dieta. Logo a eficiência de ruminação da matéria seca aumentou com o aumento no nível de concentrado; entretanto, a eficiência de ruminação da FDN decresceu. Na relação mais alta de concentrado, observaram 1456,80 g de matéria seca ruminadas por hora e 298,15 g de FDN, ruminadas por hora, valores que estão de acordo com os verificados no tratamento com aveia branca.

Pelo resultado de análise de variância dos dados de presença dos novilhos ao comedouro, constatou-se a interação entre tratamento x hora ($P=0,0125$), sendo que, em alguns momentos, alternava-se (Figura 1).

Os animais alimentados com casca de soja ou mistura, nos intervalos entre as alimentações (8h30min às 14h), tiveram maior presença no comedouro em função do menor teor de energia dessas dietas, o que poderia justificar uma tentativa de maior consumo de matéria seca, porém, este aumento não foi observado.

Como comentado anteriormente, isso ocorreu em função do desequilíbrio no ambiente ruminal, porque os novilhos estavam com o potencial de hidrogenação (pH) abaixo de 5,6 ao longo do dia. Silva *et al.*⁽²²⁾ comentam que os animais tendem a fracionar a alimentação quando a dieta interfere na estabilidade do pH ruminal.

De modo geral, observou-se que quase que a totalidade dos animais no comedouro quando foi disponibilizada a alimentação (8h30 e às 14h), não ocorrendo diferença entre as médias dos tratamentos estudados ($P=0,6563$).

■ CONCLUSÃO

Dieta exclusivamente com ingrediente à base de casca de grão de soja tem elevado teor de fibra em detergente neutro, mas não é suficiente para promover adequado comportamento ingestivo de novilhos terminados em confinamento.

Dietas sem fonte de volumoso à base de grão de aveia branca e mistura não prejudicam o tempo de alimentação, ruminação e ócio de bovinos.

■ AGRADECIMENTOS

À equipe do Laboratório de Bovinocultura de Corte do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria pela dedicação na condução da pesquisa.

■ REFERÊNCIAS

1. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2 ed. Ithaca, NY, Cornell University Press, 1994. 476p. English.
2. Missio R.L, Brondani IL, Alves Filho DC, Silveira MF, Freitas LSF. Comportamento ingestivo de tourinhos terminados em confinamento, alimentados com diferentes níveis de concentrado na dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2010;39(7):1571-1578. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000700025>. Portuguese.
3. Berchielli TT, Pires AV, Oliveira SG. *Nutrição de Ruminantes*. 2º Ed. Jaboticabal: Funep; 2011. 616p. Portuguese.
4. Callegaro AM, Alves Filho DC, Pizzuti LÂD, Segabinazzi LR, Brondani IL, Martini APM. Comportamento ingestivo de novilhos mestiços terminados em confinamento alimentados com borra de soja. *Ciência Animal Brasileira*. 2018;19:1-12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-6891v19e-28150>. Portuguese.
5. Bernardes GMC, Carvalho S, Pires CC, Motta JH, Teixeira WS, Borges LI, Fleig M, Pilecco VM, Farinha ET, Venturini RS. Consumo, desempenho e análise econômica da alimentação de cordeiros terminados em confinamento com o uso de dietas de alto grão. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2015;67(6):1684-1692. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-7934>. Portuguese.
6. National Research Council. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7 rev. ed., Washington: National Academy Press. 2000. 242p. English.
7. Bürger PJ, Pereira JC, Queiroz AC, Silva JFC, Valadares Filho SC, Cecon PR, Casali ADP. Comportamento ingestivo em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2000;29(1):236-242. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982000000100031>. Portuguese.
8. SAS Institute Incorporation. *Statistical Analysis System: user guide [CD-ROM]*. Version 6. Cary (NC): SAS Insitute Inc., 2001. English.
9. Neumann M, Figueira DN, Ueno RK, Mattos Leão GF, Heker Junior JC. Desempenho, digestibilidade da matéria seca e comportamento ingestivo de novilhos holandeses alimentados com diferentes dietas em confinamento. *Semina: Ciências Agrárias*. 2015;36(3):1623-1632. Available from: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3p1623>. Portuguese.
10. Mendes CQ, Turino VF, Susin I, Pires AV, Morais JB, Gentil RS. Comportamento ingestivo de cordeiros e digestibilidade dos nutrientes de dietas contendo alta proporção de concentrado e diferentes fontes de fibra em detergente neutro. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2010;39:594-600. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000300019>. Portuguese.

11. Mertens DR. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, Savoy. 1997; 80(7):1463-1481. English.
12. González LA, Manteca X, Calsamiglia S, Schwartzkopf-Genswein KS, Ferret A. Ruminal acidosis in feedlot cattle: Interplay between feed ingredients, rumen function and feeding behavior (a review). *Animal Feed Science and Technology*. 2012;172:66-79. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.009>. English
13. Silva MRH, Neumann M. Fibra efetiva e fibra fisicamente efetiva: Conceitos e importância na nutrição de ruminantes. *FAZU em Revista*. 2012;9:69-84. Available from: <http://www.fazu.br/ojs/index.php/fazuemrevista/article/viewArticle/491>. Portuguese.
14. Kononoff PJ. Understanding effective fiber in rations for dairy cattle. Published by university of Nebraska. 2005. Available from: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1458&context=extensionhist>. English.
15. Carvalho S, Bernardes GMC, Pires CC, Bianchi G, Pilecco VM, Venturini RS, Motta JH, Teixeira C. Efeito de dietas de alto grão sobre o comportamento ingestivo de cordeiros em confinamento. *Zootecnia Tropical*. 2015;32(2):145-152. Spanish.
16. Carvalho S, Dias FD, Pires CC, Brutti DD, Lopes JF, Santos D, Barcelos RD, Macari S, Wommer TP, Griebler L. Comportamento ingestivo de cordeiros Texel e Ideal alimentados com casca de soja. *Archivos de Zootecnia*. 2014;63(241):55-64. Available from: <http://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922014000100006>. Spanish.
17. Grant RJ. Interactions among forages and nonforage fiber sources. *Journal of Dairy Science*, Savoy. 1997;80(7):1438–1446. Available from: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76073-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76073-9). English.
18. Zambom MA, Santos GT, Modesto EC, Alcalde CR, Gonçalves GD, Silva DC, Silva KT, Faustino JO. Valor nutricional da casca do grão de soja, farelo de soja, milho moído e farelo de trigo para bovinos. *Acta Scientiarum*. 2001;23(4):937-943. Available from: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAnimSci/article/view/2648/0>. Portuguese.
19. Dijkstra J, Ellis JL, Kebreab E, Strathe AB, López S, France J, Bannink A. Ruminal pH regulation and nutritional consequences of low pH. *Animal Feed Science and Technology*. 2012;172:22-23. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.005>. English.
20. López EJ, Ortiz MFI, Mercado GP, Chavez JMC. Ruminal acidosis: strategies for its control. *Austral Journal of Veterinary Sciences*. 2017;49:139-148. Available from: <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-81322017000300139>. English.
21. Zhao XH, Zhang T, Xu M, Yaho JH. Effects of physically effective fiber on chewing activity, ruminal fermentation, and digestibility in goats. *Journal Dairy Science*. 2011;89:501-509. Available from: <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3013>. English.
22. Silva VS, Alves Filho DC, Freitas LS, Brondani, IL, Restle J, Azevedo Junior RL, Teixeira, OS. Sources of carbohydrates in the ingestive behavior of feedlot steers. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2014;43(5):273- 277. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982014000500008>. Portuguese.

Desafios no uso de índices de vegetação baseados no RGB para diagnóstico do status de nitrogênio em gramíneas sob pastejo

| **Caio Augusto Bertolini**
FZEA/USP

| **Adriano Rogério Bruno Tech**
FZEA/USP

| **Murilo Mesquita Baesso**
FZEA/USP

| **Fabício Rossi**
FZEA/USP

| **Lilian Elgalise Techio Pereira**
FZEA/USP

RESUMO

O uso de imagens digitais RGB para monitoramento do status nutricional de diversas culturas de interesse econômico tem se mostrado uma ferramenta promissora, devido ao baixo custo para aquisição das imagens, portabilidade dos dispositivos e disponibilidade de câmeras e sensores, incluindo-se para adaptação e uso de smartphones. Todavia, enquanto a pesquisa traz inúmeras ferramentas e métodos de análise de imagens para reconhecimento de assinaturas espectrais que caracterizam o status nutricional de culturas como milho (*Zea mays*), arroz (*Oriza sativa*) e trigo (*Triticum* spp.), uma enorme lacuna é percebida com relação às tais aplicações no monitoramento de gramíneas forrageiras utilizadas em pastagens, particularmente para as espécies tropicais perenes. Diante disso, o objetivo desta revisão é destacar os desafios atuais no uso da análise de imagens baseada no modelo de cores RGB para diagnóstico do status nutricional em nitrogênio (N) em gramíneas tropicais sob pastejo. Para tanto, são descritas as principais relações entre o N e as clorofilas e entre as assinaturas espectrais da vegetação e o status de N da planta. Em adição, são destacadas as particularidades do ecossistema pastagens com relação à dinâmica da população de plantas, e seus possíveis impactos nas variações dos valores médios de RGB obtidos a partir de imagens digitais. Finalmente, são elencados os pontos críticos durante o procedimento de aquisição de imagens, a fim de contribuir para o estabelecimento de protocolos padronizados e, que permitam maior acurácia na extração dos índices de vegetação.

Palavras-chave: Análise de Imagens, Clorofila, Deficiência Nutricional, Pastagens, Visão Computacional.

■ INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e uso de ferramentas de sensoriamento remoto tem experimentado ampla expansão nos últimos anos, particularmente no que se refere às aplicações da análise de imagens para monitoramento do crescimento, produtividade, e status nutricional de culturas de interesse econômico (LEE e LEE, 2013; BARESEL *et al.*, 2017; MOHAN e GUPTA, 2019).

A análise de imagens digitais tem se mostrado uma das ferramentas mais promissoras no tocante à popularização no uso do sensoriamento remoto para monitoramento do status nutricional das culturas. Parte disso está vinculado ao fato de que a adoção de estratégias de aplicação de adubos, principalmente a adubação nitrogenada, sem critérios técnicos gera diversos prejuízos econômicos e ambientais. Nesse contexto, a identificação do status nutricional em nitrogênio (N) para uma espécie vegetal perene é essencial para definir os requerimentos nutricionais das plantas que norteiam as decisões sobre os momentos e a quantidade correta de N a ser suprido, aumentando a eficiência de uso do N e garantindo a qualidade da pastagem. O não suprimento de N em quantidades adequadas leva a um menor teor de proteínas e clorofila, menor produção de biomassa com baixo valor nutritivo e menor cobertura do solo, com maior possibilidade de erosão e emissão de gases de efeito estufa (GEE). Em contrapartida, a aplicação excessiva de N pode levar à poluição do solo e da água e também incorrendo em aumento das emissões de GEE (WANG *et al.*, 2014).

Ali *et al.* (2017) descrevem que a base do uso da análise de imagens no monitoramento do status nutricional em N das plantas reside no fato de que a concentração do nutriente nos tecidos vegetais, seja na análise de dossel ou de folhas individuais, possui relação direta com a concentração de clorofila e taxas fotossintéticas, as quais definem o potencial produtivo das culturas. As variações nas concentrações de pigmentos fotossintéticos se expressam visualmente através de mudanças na cor das folhas, de forma que as assinaturas espectrais, nas bandas do espectro visível, em plantas com diferentes status nutricionais, poderiam ser obtidas a partir da análise de imagens (WANG *et al.*, 2014).

As convencionais imagens RGB (*Red, Green, Blue*) têm sido amplamente empregadas para essas finalidades, devido ao baixo custo para aquisição, portabilidade e disponibilidade de câmeras e sensores, comparativamente à utilização de imagens termais, multi ou hiperespectrais (BARBEDO, 2019). Além disso, as tecnologias de visão computacional têm permitido melhorar a qualidade no processamento das imagens e na análise e classificação dos dados obtidos, demonstrando vantagens que frequentemente superam os eventuais ganhos com o uso de outras bandas espectrais além daquelas da faixa do visível e, também, permitem o uso mais flexível de dispositivos comerciais e móveis, tais como as câmeras digitais, o que representa um progresso adicional (MOHAN e GUPTA, 2019).

Em adição, o recente desenvolvimento de tecnologias de captura de imagens com excelente qualidade em *smartphones* abre novas oportunidades para geração de dados em tempo real e em campo, oferecendo a possibilidade de que a análise de imagens baseada no modelo de cores RGB, para determinadas aplicações, seja capaz de descrever informações espectrais da vegetação com excelente precisão, além de exigir pouco treinamento do usuário e ser de baixo custo quando comparadas as câmeras multi ou hiperespectrais (VESALI *et al.*, 2015; HAIDER *et al.*, 2021).

Todavia, enquanto a pesquisa traz inúmeras ferramentas e métodos de análise de imagens para reconhecimento de assinaturas espectrais que caracterizam o status nutricional de culturas como milho (*Zea mays*), arroz (*Oriza sativa*) e trigo (*Triticum spp.*), uma enorme lacuna é percebida com relação à tais aplicações no monitoramento de gramíneas forrageiras utilizadas em pastagens (MANCIN *et al.*, 2022), particularmente para as espécies tropicais perenes. Assim, o objetivo desta revisão é destacar os desafios atuais no uso dos modelos de cores RGB, ou seus índices de vegetação derivados, obtidos a partir de imagens digitais, para diagnóstico do status nutricional em nitrogênio em gramíneas tropicais perenes sob pastejo.

■ DESENVOLVIMENTO

Esta é uma revisão integrativa, baseada na coleta de dados de fontes secundárias, realizada por meio de levantamento bibliográfico e compilação de informações disponibilizadas em meios eletrônicos. As referências bibliográficas foram obtidas a partir das bases de dados de publicações do Portal de Periódicos da CAPES, Google Acadêmico, SciELO – *Scientific Electronic Library Online* (Biblioteca Científica Eletrônica On-line) e *Web of Science (WoS)*. Foram utilizados na busca de referências os seguintes descritores e suas combinações nas línguas portuguesa e inglesa: “Nitrogênio”, “Clorofila”, “Imagens RGB”, “Assinatura Espectral”, “Adubação nitrogenada”, “Índices de vegetação” e “Status nutricional”. Os critérios de inclusão definidos para a seleção de referências foram: artigos na íntegra, livros, capítulos de livros e teses ou dissertações com foco no estudo de gramíneas e na temática referente à revisão integrativa e publicados e indexados nas bases de dados, preferencialmente nos últimos dez anos.

Relações entre Nitrogênio e a Clorofila

O processo fotossintético inclui diversas etapas envolvidas nas reações luminosas e de redução do carbono para produção de energia e oxigênio. As reações luminosas, descritas através de três principais etapas: absorção da luz, transferência de elétrons e fotofosforilação,

ocorrem nas membranas tilacóides dos cloroplastos. Os cloroplastos são ricos em pigmentos fotossintéticos, os quais são os principais responsáveis pela etapa de absorção da luz e transferência de elétrons (MU e CHEN, 2021; URBAN *et al.*, 2021).

Nas folhas, o N está ligado à diferentes compostos moleculares, os quais incluem componentes solúveis, como nitratos, aminoácidos, proteínas e compostos secundários, e componentes insolúveis principalmente ligados às paredes celulares, membranas e outras estruturas (MU *et al.*, 2016). O N utilizado no cloroplasto está vinculado a duas principais categorias, de acordo com Mu e Chen (2021): a) Aquele associado às enzimas fotossintéticas: que são as enzimas mais abundantes na fotossíntese e envolvidas nas reações de redução de carbono, sendo as principais a ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase (Rubisco), fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP) e piruvato ortofosfato diquinase (PPDK); b) o N nas membranas tilacóides: que pode ser dividido em proteínas envolvidas na absorção de luz e, portanto, ligadas às etapas de reações luminosas da fotossíntese nos centros de reação (também chamados de fotossistemas I e II) e as proteínas envolvidas na etapa bioenergética, ou seja, no transporte de elétrons e fotofosforilação.

Segundo Mu *et al.* (2016) e Mu e Chen (2021), tipicamente plantas C3 sob altas intensidades luminosas investem, aproximadamente, 58% do N foliar em proteínas solúveis ligadas ao transporte de elétrons e fotofosforilação, com quase 40% vinculada à Rubisco, e cerca de 22% é associado às membranas tilacóides. Enquanto isso, plantas C4 alocam cerca de 45% em proteínas solúveis, sendo apenas 20% vinculado à Rubisco, e cerca de 28 a 33% encontra-se nas membranas tilacóides. Nas membranas tilacóides, cerca de 80% nas plantas C3 e até 75% do N em plantas C4 é alocada nas proteínas envolvidas na etapa de absorção de luz.

Em plantas C4, que consiste no grupo fotossintético ao qual pertencem as gramíneas tropicais anuais e perenes, os custos de N para manutenção das enzimas PEP e PPDK não é alto, o que, associado a menor quantidade de Rubisco nos tecidos, permite que uma maior proporção do N seja investido nos componentes das membranas tilacóides, principalmente nas proteínas envolvidas na etapa de absorção de luz (MU *et al.*, 2016; MU e CHEN, 2021). Além disso, a atividade da Rubisco em plantas C4, mesmo com menores concentrações, é cerca de duas vezes maior do que em espécies C3, e o maior investimento do N em enzimas ligadas à absorção de luz permite maior eficiência de conversão da energia luminosa e maiores taxas de transporte de elétrons comparativamente às plantas C3 (URBAN *et al.*, 2021).

As clorofilas são um grupo de pigmentos naturais considerados componentes bioquímicos chave no aparato molecular responsável pelo processo fotossintético (PATANE e VIBHUTE, 2014; URBAN *et al.*, 2021). A molécula de clorofila é constituída por carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e magnésio. A clorofila 'a' é a forma mais abundante no grupo

das clorofilas em organismos fotossintéticos, embora as clorofilas 'b', 'c' e 'd', os carotenóides e as ficobilinas, chamados de pigmentos acessórios, também estejam envolvidos na fotossíntese. Todavia, as clorofilas 'c', 'd' e as ficobilinas são encontradas especialmente em algas e cianobactérias. As clorofilas 'a' e 'b' são os principais pigmentos envolvidos na fotossíntese em vegetais, e estão distribuídas na forma de complexos pigmento-proteínas nos centros de reação das membranas tilacóides (WANG *et al.*, 2020; MU e CHEN, 2021). Os carotenóides são capazes de absorver os comprimentos de onda que não são diretamente utilizados pelas clorofilas, ou seja, nas faixas do espectro da radiação solar que correspondem ao azul-verde. Esses pigmentos atuam na fotossíntese através da transferência da energia de excitação dos elétrons para as clorofilas, ampliando o espectro da radiação útil ao processo fotossintético e, por isso, atuam como pigmentos acessórios (HASHIMOTO *et al.*, 2016).

Dessa forma, as concentrações de clorofila determinam a capacidade fotossintética das folhas, sendo que estes parâmetros expressam uma forte relação positiva com as concentrações foliares de N e, assim, com o potencial produtivo das plantas (SCHLEMMER *et al.*, 2013; URBAN *et al.*, 2021).

Assinaturas espectrais da vegetação e o status de N da planta

A luz incidente sobre o dossel ou folhas é composta por uma combinação de diferentes comprimentos de onda. Todavia, no espectro da radiação visível, a superfície de captura de luz parcialmente absorve, reflete e transmite determinados comprimentos de onda. A radiação que flui na direção oposta à radiação incidente é referida como radiação refletida e carrega a assinatura espectral gerada por uma dada cultura. Dessa forma, a análise da radiação refletida em diferentes comprimentos de onda é capaz de fornecer diversas informações úteis no monitoramento do status hídrico, nutricional e outros parâmetros de interesse (CATUREGLI *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2020; FU *et al.*, 2021). Os comprimentos de onda capazes de excitar os elétrons nos átomos dos pigmentos fotossintéticos variam dentro do espectro de luz visível, segundo os pigmentos: a clorofila 'a' expressa picos de absorção da radiação nos comprimentos de onda de 430 e 660 nm, e a clorofila 'b' em 450 e 650 nm (ZILBERMAN *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2020), sendo que ambas refletem a luz na faixa do verde (550 nm). Os carotenóides absorvem mais intensamente a radiação nas faixas de maior energia do espectro (menor comprimento de onda, de 450 até 550 nm), com picos de absorção correspondentes às cores azul-verde e violeta e refletem os maiores comprimentos de onda: amarelo, vermelho e laranja (HASHIMOTO *et al.*, 2016).

Assim, quando a radiação eletromagnética incide sobre a vegetação, particularmente nas folhas, os pigmentos fotossintéticos atuam na absorção de comprimentos de onda específicos da luz visível, enquanto refletem ou transmitem os demais. Folhas que expressam

maiores concentrações de pigmentos fotossintéticos, portanto, possuem maior absorbância para os comprimentos de onda específicos a cada molécula e, conseqüentemente, a radiação refletida será mais baixa (CATUREGLI *et al.*, 2014). Uma vez que cada um desses pigmentos absorve e reflete diferentes comprimentos de onda, as características de refletância espectral podem ser utilizadas para avaliar, de maneira indireta, as suas respectivas concentrações nos tecidos vegetais ou fazer distinção entre os pigmentos (FENG *et al.*, 2017).

O teor de clorofila da folha e sua refletância espectral na faixa do visível, possui elevada correlação com o teor de N na planta e, dado essa estreita relação, a refletância de determinados comprimentos de onda, e índices de vegetação derivados destes, tem sido amplamente utilizada entre os parâmetros da análise de imagens para determinação do status de N (LEE e LEE, 2013; WANG *et al.*, 2020). Segundo Caturegli *et al.* (2014), um índice de vegetação é um número obtido por meio de relações matemáticas entre os valores de refletância das bandas do espectro medidas, permitindo em alguns casos ampliar as diferenças entre determinadas assinaturas espectrais.

Quando se utilizam sensores multiespectrais, os quais são capazes de medir efetivamente a radiação refletida, a assinatura espectral de plantas com status nutricional em N considerado suficiente, em condições de alta intensidade de radiação, é modulada pelo espectro de absorção das clorofilas. Uma vez que as clorofilas expressam baixo poder de absorção dos comprimentos de onda nas faixas do verde (550 nm) e infra- vermelho próximo (750-1100 nm) estes são essencialmente refletidos em maior intensidade. Considerando os picos de absorção das clorofilas 'a', em comprimentos de onda correspondentes ao vermelho (principalmente entre ~660 a 670 nm) e das clorofilas 'b' e carotenóides em comprimentos de onda correspondentes ao azul (em ~450 nm), as assinaturas espectrais revelam baixa refletância nestes comprimentos de onda (ZILBERMAN *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2020). Por sua vez, plantas deficientes em N possuem menores concentrações de clorofila e, conseqüentemente, menor refletância na faixa do verde, enquanto a refletância dos comprimentos de onda advindos dos carotenóides apresentam maior intensidade e, por isso, a percepção visual das folhas é amarelada (WANG *et al.*, 2020).

Índices de cores RGB e sua relação com a concentração foliar de N

Embora os sensores termais, multi ou hiperespectrais forneçam uma ampla gama de informações em diversos comprimentos de onda, o uso de imagens digitais RGB combinado a métodos computacionais e estatísticos adequados para extração de características da imagem e modelagem de dados tem demonstrado elevada aplicabilidade no monitoramento do status de N em diversas culturas, trazendo benefícios adicionais que incluem facilidade de operação, praticidade e agilidade na aquisição de imagens e dados (ALI *et al.*, 2017).

Todavia, a interpretação de índices de cores, ou índices de vegetação, derivados de imagens não segue o mesmo padrão daqueles obtidos com outros sensores que medem a refletância (MANCIN *et al.*, 2022).

O sistema de cores RGB (*Red, Green, Blue*) é reconhecido por ser um modelo aditivo, onde as intensidades das bandas vermelha, verde e azul em cada pixel da imagem são capturadas pelo sensor e adicionadas ou combinadas em proporções variáveis para produzir uma ampla gama de outras cores. Na interpretação dos valores obtidos a partir de imagens, deve-se ter em mente que as leituras originais obtidas se referem a valores de intensidade de cor (nesse caso os valores médios dos pixels que fazem parte do objeto de interesse) em cada um dos canais ou bandas R, G e B, sendo que a imagem colorida só pode ser obtida a partir da sobreposição destes três canais primários. Nesse sentido, para a notação (R, G, B), a combinação de valores de intensidade (0, 0, 0) representa a cor preta, enquanto no outro extremo, a combinação de valores de intensidade (255, 255, 255) representa a cor branca (WANG *et al.*, 2014).

Considerando-se a análise de imagens de folhas, os componentes R e G de imagens adquiridas com um *smartphone* expressaram maiores correlações com as concentrações foliares de N comparativamente a banda B em capim-Xaraés (*Brachiaria brizantha* 'Xaraés'), sendo tais relações descritas por correlações negativas (TAVAKOLI e GEBBERS, 2019; MILAGRES *et al.*, 2021; MANCIN *et al.*, 2022). Da mesma forma, a média dos canais R e G de imagens digitais de lâminas foliares obtidas com uma câmera comercial estiveram negativamente correlacionadas com o conteúdo de clorofila 'a', 'b' e carotenóides (extraído por método laboratorial) em três cultivares de arroz (*Oryza sativa*), enquanto a banda B demonstrou baixas correlações, não sendo considerada um bom parâmetro para estimativas da concentração das clorofilas (HU *et al.*, 2013). Relações negativas entre as leituras SPAD e os canais R e G em imagens de folhas de milho (*Zea mays* L.) obtidas com *scanner* também foram registradas por Reyes *et al.* (2017), com baixas correlações registradas no canal B. Ou seja, maiores valores dos componentes R e G de imagens representam folhas com menor concentração de N ou com menores valores SPAD (TAVAKOLI e GEBBERS, 2019), dado que a imagem expressará cores mais próximas ao branco (255, 255, 255).

Desafios na determinação do status de N a partir do RGB em gramíneas sob pastejo

O primeiro desafio a ser superado na utilização de imagens e índices de vegetação derivados do RGB não está essencialmente vinculado à imagem ou procedimentos ligados à aquisição e processamento, mas sim à determinação acurada dos parâmetros de nutrição nitrogenada que devem ser utilizados para a correspondência com os índices de cores. Wang *et al.* (2013) destacam que a definição de índices ou faixas de suficiência é o parâmetro

primário para caracterização de distintos status nutricionais e para tomada de decisão com relação ao momento e quantidades de adubação nitrogenada a serem aplicados. Tais índices podem ser estimados com base nas concentrações foliares de N determinadas em laboratório ou através de medidas indiretas de teores de clorofila, obtidas com clorofilômetros.

Em pastagens, as faixas de suficiência relacionam a concentração de nutrientes nos tecidos da planta com sua produção relativa de forragem (% do máximo), em matéria seca. Essa relação permite a estratificação (TAIZ e ZIEGER, 2013; CAVALCANTI *et al.*, 2021) em: i) plantas muito deficientes, as quais normalmente possuem baixas concentrações foliares do nutriente, com a expressão de sintomas visuais de deficiência e reduzidas taxas de crescimento ou acúmulo de forragem; ii) plantas moderadamente deficientes, que não necessariamente expressam sintomas visuais, possuem concentração de nutrientes abaixo e relativamente próxima da faixa de suficiência, mas expressam menores taxas de crescimento ou acúmulo de forragem comparativamente às plantas com adequado status nutricional; iii) plantas suficientes, cuja faixa de concentração de nutrientes nos tecidos as permitem expressar entre 90 a 100% da máxima taxa de crescimento ou acúmulo de forragem; iv) consumo de luxo, no qual é verificado aumento na concentração do nutriente nos tecidos, sem quaisquer benefícios ou aumento nas taxas de crescimento ou acúmulo de forragem e v) faixa de toxidez, no qual o aumento na concentração de nutrientes no tecido causa danos celulares e morte de tecidos, incorrendo em redução nas taxas de crescimento ou acúmulo de forragem e estão frequentemente associadas com sintomas visuais de toxidez.

As faixas de suficiência são, normalmente, espécie-específicas e dentro de uma dada espécie pode haver diferença entre cultivares (Tabela 1). Para as gramíneas tropicais perenes utilizadas como pastagens, não há dados na literatura para a maior parte das espécies em uso atualmente, sendo que a grande maioria dos resultados disponíveis foram publicados há mais de 10 anos.

Tabela 1. Nível crítico (ou faixa de suficiência) em nitrogênio e valores de referência das leituras SPAD em diversas gramíneas tropicais perenes utilizadas em pastagens.

Espécie	Nível crítico ou faixa de suficiência	Nível crítico SPAD	Referência
<i>Brachiaria decumbens</i> 'Basilisk'	14,5 a 22,0 g de N/kg MS	-	Santos (1997)
<i>Brachiaria brizantha</i> 'Marandu'	23,2 g de N/kg MS	39	Abreu e Monteiro (1999)
<i>Panicum maximum</i> 'Mombaça'	16,0 a 16,5 g de N/kg MS	41 a 45	Manarim e Monteiro (2002)
<i>Panicum maximum</i> 'Aruana'	28,4 a 34,1 g de N/kg MS	42,8 a 49	Lavres Júnior e Monteiro (2006)
<i>Brachiaria</i> spp. 'Mavuno'	27,5 a 31,0 g de N/kg MS	-	Pereira et al. (2021)
<i>Brachiaria brizantha</i>	21,2 a 31,4 g de N/kg <u>MS</u>	-	Cavalcanti et al. (2021)

Com relação ao uso de medidas indiretas de clorofila, Wang *et al.* (2014) relatam que leituras obtidas com clorofilômetros portáteis (e.g. SPAD) normalmente não são capazes de distinguir níveis de clorofila abaixo, mas próximos aos níveis ótimos, ou seja, não distingue plantas consideradas moderadamente deficientes. Além disso, é observado que as leituras SPAD se saturam em maiores concentrações de N foliar (ALI *et al.*, 2017). Xiong *et al.* (2015) relatam que as relações entre as leituras SPAD e o conteúdo de clorofila por unidade de área foliar não são lineares e, da mesma forma, relações não lineares são descritas entre a concentração de N foliar e clorofila.

Adicionalmente, as leituras SPAD variam com as características da folha, como espessura e distribuição dos cloroplastos. Por isso, em situações pontuais ou momentâneas de restrição hídrica ou sombreamento são esperadas grandes variações nas concentrações de pigmentos fotossintéticos (XIONG *et al.* 2015; ALI *et al.*, 2017). Todos esses fatores afetam sobremaneira o estabelecimento de relações acuradas entre os parâmetros de cores obtidos em imagens RGB e as leituras SPAD, podendo resultar em baixo poder de predição do status nutricional em N, particularmente em condições de campo.

Outro ponto importante no monitoramento de pastagens se refere às particularidades da dinâmica dos processos crescimento em gramíneas mantidas sob pastejo, as quais impõe maiores dificuldades na interpretação dos parâmetros de cores obtidos de imagens digitais comparativamente às culturas destinadas à produção de grãos, tais como arroz, milho ou trigo, as quais têm sido as gramíneas mais amplamente estudadas com relação à diagnose nutricional a partir do RGB.

Culturas anuais destinadas a produção de grãos possuem pouca variação com relação à idade das plantas que compõe a população, uma vez que esse fator é essencial para a definição das janelas de colheita e produtividade. Isso implica em um ciclo de crescimento cujos estágios de desenvolvimento são bem descritos e podem ser facilmente acompanhados. Outra implicação disso reside no fato de que as respostas espectrais entre plantas submetidas a um mesmo tratamento são menos afetadas em um dado momento do ciclo de crescimento, devido a certa homogeneidade da população, de forma que as respostas espectrais estão sujeitas a menor amplitude de variação, o que permite que os requerimentos nutricionais ao longo do ciclo da cultura sejam mais facilmente definidos e as relações entre o N foliar e os índices de cores RGB sejam mais estáveis (JIANG *et al.*, 2019; MILAGRES *et al.*, 2021).

Todavia, em gramíneas tropicais perenes mantidas sob pastejo, o perfil etário da população de plantas é extremamente variável. O processo de perfilhamento, que consiste na ativação de gemas axilares de perfilhos pré-existent e formação de novas plantas a fim de repor perfilhos que morrem, é o que garante a perenidade e a produção de forragem em pastagens mantidas sob pastejo. Para uma dada espécie, a habilidade de repor os perfilhos da

população e o balanço entre o aparecimento e a mortalidade variam entre cultivares (ZHANG *et al.* 2014; WANG *et al.*, 2014), entre alturas de manejo as quais a pastagem é submetida e com a fertilidade do solo (CAMINHA *et al.*, 2010). Essa dinâmica variável e complexa remete à possibilidade de que as respostas espectrais sejam muito específicas ao local de cultivo e ao manejo imposto à pastagem, tornado extremamente difícil encontrar um modelo que seja capaz de integrar tais diferenças para descrever ou identificar um padrão de variação nas assinaturas espectrais tendo por base o RGB (ZHOU *et al.*; 2018, BARBEDO, 2019).

Ainda, para um dado cultivar, mantido sob uma altura de manejo estável ao longo da estação de crescimento, a dinâmica de reposição da população varia com as práticas de adubação e com as condições climáticas vigentes a cada ciclo de rebrotação (ZHANG *et al.* 2014; WANG *et al.*, 2014). Por exemplo, Paiva *et al.* (2011) descreveram que a velocidade de renovação da população de perfilhos em pastos de capim-Marandu mantidos a 30 cm de altura sob lotação contínua é acelerada na medida em que se aumentam as doses de nitrogênio aplicadas. As doses de adubação que geraram diferenças marcantes no perfil etário da população corresponderam a parcelas de 75 e 112,5 kg/ha de N, totalizando doses anuais de 300 e 450 kg/ha de N. Os autores observaram que no início da estação de crescimento (final de outubro e início de novembro), a população de plantas era composta por cerca de 55 a 65% de perfilhos velhos (com mais de 4 meses desde o aparecimento), enquanto perfilhos maduros (2 a 4 meses) e jovens (menos de 2 meses) correspondiam a, respectivamente, de 25 a 30% e de 15 a 20% da população. Todavia, na medida em que os ciclos de rebrotação avançaram ao longo da estação de crescimento, perfilhos velhos foram progressivamente sendo substituídos pelas categorias mais jovens. Ao final do período de avaliação (fevereiro), pastos que não receberam adubação ou aqueles que recebiam parcelas equivalente a 37,5 kg/ha de N mantinham, aproximadamente, 25% da população com perfilhos velhos, cerca de 35% eram perfilhos maduros e apenas 40 a 45% eram perfilhos jovens. Por outro lado, nos dosséis submetidos às maiores doses de N a população foi caracterizada por manter, aproximadamente, de 10 a 15% de perfilhos velhos, cerca de 20% eram perfilhos maduros e perfilhos jovens compuseram até 70 a 75% da população.

Perfilhos jovens possuem maiores taxas de aparecimento de folhas e maior potencial de alongamento foliar, mantém folhas mais longas e menor comprimento do colmo, além de sustentar maior número de folhas em expansão e menor número de folhas senescentes comparativamente a perfilhos velhos (PAIVA *et al.*, 2012). Esse fato traz consequências importantes do ponto de vista da análise de imagens e da descrição das assinaturas espectrais da vegetação, uma vez que afeta a concentração de N das folhas amostradas, os teores de água nos tecidos (ou matéria seca), a proporção entre células de parede celular e células do mesófilo, o tamanho e distribuição dos cloroplastos nas folhas, sendo que todos esses

parâmetros interferem sobremaneira nos padrões de refletância e absorbância da radiação (XIONG *et al.* 2015).

A amostragem de folhas diagnósticas é um procedimento aleatório, onde não se considera a idade da planta amostrada, mas busca-se a coleta do máximo possível de unidades de amostragem (cada folha) que irão compor uma dada amostra, a fim de caracterizar a condição média da unidade experimental (parcela ou piquete). Assim, é possível inferir que: a) grandes variações nos valores médios de RGB possam ser obtidas a partir de imagens de folhas coletadas de diferentes indivíduos (perfilhos), mesmo que componham a mesma unidade experimental; b) seriam esperadas maiores variações nos valores médios de RGB quanto mais heterogênea for a população de plantas; e c) para um dado tratamento ou status nutricional, as alterações na composição da população entre ciclos de rebrotação ao longo da estação de crescimento geram variações nos valores médios de RGB (ZHOU *et al.*, 2018).

O segundo, e não menos importante, desafio no monitoramento de pastagens a partir da visão computacional está relacionado à definição de protocolos adequados de aquisição de imagens. Essa etapa é considerada um ponto crítico do processamento, uma vez que define a qualidade da imagem e a acurácia nos resultados obtidos em todas as etapas posteriores (HAIDER *et al.*, 2021). As condições de iluminação no momento da captura afetam sobremaneira os valores de RGB obtidos nas etapas pós-processamento da imagem (BARBEDO, 2019). Imagens adquiridas em pleno sol ou em sombra ou, ainda, em dias nublados, em distintos horários de aquisição, com ou sem uso de fontes de iluminação externas e o tipo de fonte (LED, lâmpadas fluorescentes, etc.) são fatores que afetam as medidas do RGB (BARBEDO, 2019; HAIDER *et al.*, 2021). Todavia, não há recomendações padrão na literatura.

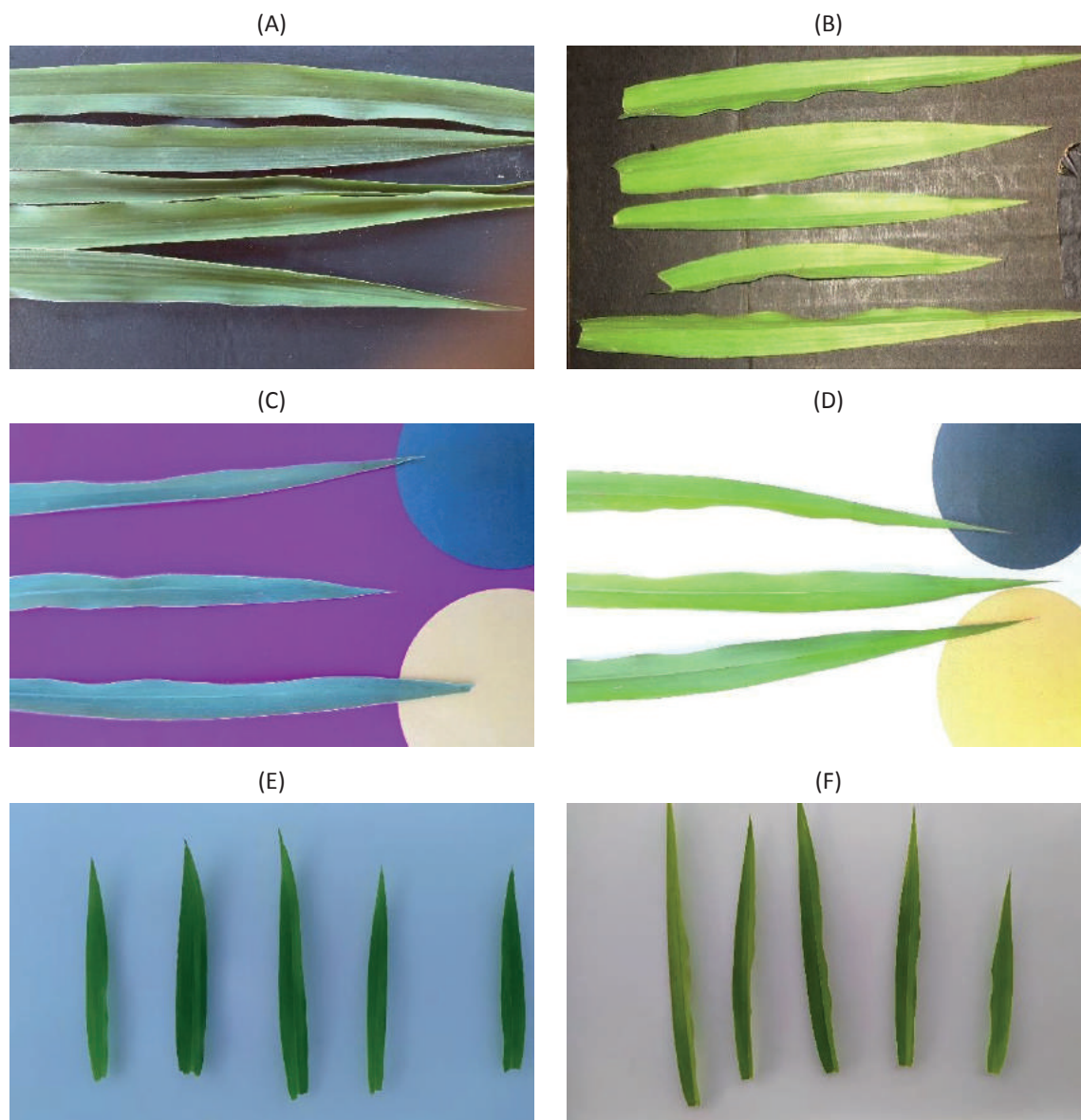
Rorie *et al.* (2011) adotaram na aquisição uma câmera comercial e as imagens foram tomadas em um fundo de feltro preto alocado abaixo de um sistema de iluminação com luz fluorescente à distância de 58 cm e ângulo deslocado de 40° da vertical. Todavia, Chang *et al.* (2019) alertaram que o ângulo entre o dispositivo e o objeto durante a captura da imagem modifica a assinatura espectral registrada, particularmente nos canais R e G, e concluem que o dispositivo de captura deve ser posicionado a um ângulo zenital do observador próximo de 90°.

Saberioon *et al.* (2014) adotaram um fundo preto de cartolina, alocado abaixo de um sistema de iluminação LED, com dispositivo na posição vertical distanciado a 60 cm do objeto. Hu *et al.* (2013) também adotaram uma câmera comercial na aquisição, e as imagens foram tomadas à 50 cm de distância do objeto, em fundo branco disposto abaixo de uma placa de vidro associado a um sistema de iluminação composto por quatro bulbos halógenos, distribuídos na forma de retângulo, a fim de eliminar a reflexão da luz ambiente. Na aquisição

de imagens em campo, Mohan e Gupta (2019) utilizaram um smartphone, em condição de iluminação natural ao sol e um fundo de cor magenta para eliminar a interferência do *background*, sendo a distância do dispositivo e da folha de 12 cm. Embora diversas correções dos efeitos da iluminação e do ambiente sejam descritas na literatura, cada protocolo de aquisição exige um padrão de correção distinto e, eventualmente, os valores de RGB e índices derivados limitam a possibilidade de comparações.

O horário de aquisição está principalmente relacionado ao efeito da inclinação solar incidente sobre a superfície foliar e o respectivo padrão de reflexão das cores. Zhao *et al.* (2012) relatam que imagens adquiridas ao meio dia retêm menores efeitos atmosféricos e da inclinação solar sobre os padrões de refletância das folhas. Barbedo (2019) ressalta, ainda, que outro fator limitante associado às condições de iluminação durante a aquisição de imagens está relacionado aos ruídos decorrentes de reflexão especular, a qual ocorre quando a maior parte da luz incidente sobre a superfície foliar é refletida de volta ao sensor. Esse ruído pode ser verificado quando regiões da folha na imagem aparecem excessivamente brilhantes, e tendem a ser mais frequentes quando as folhas não estão completamente planas no momento de aquisição (Figuras 1A, B, D). Zhou *et al.* (2018) observaram que o fenômeno de reflexão especular foi mais significativo em porções de imagens de folhas obtidas em campo e cujas folhas eram iluminadas pelo sol, e consideraram que este era o principal fator para as fracas relações entre os índices de vegetação avaliados e a concentração de N foliar, mesmo utilizando imagens com maiores resoluções espaciais. Segundo os autores, as maiores correlações entre índices de vegetação e características das folhas relacionadas ao status de N são obtidas em folhas sombreadas. Todavia, cabe ressaltar que a heterogeneidade na distribuição de luz do próprio local de aquisição da imagem, o uso de flash ou a falta de ajustes adequados nas configurações do dispositivo de aquisição também podem causar o mesmo tipo ruído na imagem (Figuras 1A, D) os quais impõe irreversíveis alterações na cor da imagem (BARBEDO, 2019), tornando-as impróprias para análise.

Figura 1. Imagens de lâminas foliares adquiridas com *smartphones*. (A) *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés e imagem adquirida em sombra sem flash, com efeito de reflexão especular; (B) *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e imagem adquirida em sombra com flash, com efeito de reflexão especular; (C) *Brachiaria* híbrida Mavuno e imagem adquirida em sombra sem flash e ajuste automático de balanço de branco; (D) *Brachiaria* híbrida Mavuno e imagem adquirida em pleno sol sem flash e ajuste automático de balanço de branco; (E) *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e imagem adquirida em sombra sem flash, e ajuste automático de balanço de branco; (F) *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e imagem adquirida em sombra sem flash, e ajuste automático de balanço de branco.



No caso do uso de smartphones e câmeras comerciais, um fator extremamente relevante se refere às configurações de aquisição de imagens do dispositivo de captura. A definição da sensibilidade ISO, que se refere ao ajuste de sensibilidade do sensor à luz, de câmeras digitais durante a aquisição define alguns aspectos de nitidez da imagem, mas depende do ambiente de aquisição. Caso o ambiente possua pouca luz ou, ainda, quando o objeto ou a cena possui movimento (vento incidindo sobre a vegetação ou câmeras montadas em veículos aéreos não tripulados, por exemplo), o sensor deve estar mais sensível, ou seja, adota-se um ISO maior. Todavia, configurações de câmeras ajustadas para maior sensibilidade ISO trazem consequências negativas para a qualidade da imagem, tais como aumento nos ruídos, reduzindo a nitidez dos detalhes, efeitos de granulação e a imagem fica menos

saturada (perda de definição de certas cores) (JESUS SILVA, 2020). Nessa situação, outros ajustes podem se fazer necessários para garantir a qualidade da imagem, tais como a adoção de maiores aberturas do diafragma (valores f), ou seja, maior tempo de exposição (maior abertura do diafragma, ou seja, menores valores de f) e menor velocidade do obturador. A velocidade de obturador se refere ao tempo em que o obturador permanece aberto durante o disparo de uma fotografia, e Segundo Jesus Silva (2020), velocidades rápidas do obturador fazem com que as imagens se tornem mais escuras devido ao fato de que uma quantidade menor de fótons de luz é captada pelo sensor das câmeras.

A adoção de sensibilidade ISO baixa reduz a quantidade de luz captada, o que pode reduzir ruídos na imagem e tornar os contornos mais nítidos. Tal particularidade pode ser requerida quando o objetivo é o diagnóstico de doenças ou sinais discretos nas lâminas foliares, que requerem maior detalhamento de bordas. Todavia, quando o ambiente possa ser considerado bem iluminado, ou em aquisições ao ar livre e sem a presença de muitas nuvens, a sensibilidade ISO entre 100 a 200 tem sido mais utilizada. Rorie *et al.* (2011) descrevem as seguintes configurações da câmera utilizada: ISO de 100, velocidade do obturador de 1/15 s e abertura de 2.0, compensação de exposição de 0 e balanço de branco fluorescente. Wang *et al.* (2013) e Wang *et al.* (2014) relatam o uso de ISO de 100, o modo prioridade de abertura foi selecionado e a câmera foi configurada para 5.6 de abertura, 4900 K de balanço de branco e autofoco, enquanto Mohan e Gupta (2019) ajustaram a câmera na abertura de $f/2.2$ com modo automático para ISO e tempo de exposição. Em todos os casos relatados acima, o flash das câmeras e smartphones não foi utilizado.

O Balanço do Branco (*White Balance*, WB) leva em consideração a “temperatura de cor” de uma fonte de luz (a qual é medida em Kelvin, K), mais fria (tons mais azulados) ou mais quente (tons avermelhados), sendo que um balanço de branco incorreto pode gerar imagens com aspecto visual de ‘lavadas’ com cores como azul, laranja e mesmo verde (Figuras 1C, E). Murphy *et al.* (2009) comentaram que, dependendo das condições de iluminação e da cor do objeto na imagem, o uso de configurações para modo automático do WB pode alterar as contribuições relativas dos canais RGB na imagem. Na configuração em modo automático a câmera adotará uma referência da cena para ajuste da temperatura da cor da imagem. Assim, caso a aquisição ocorra em ambiente sombreado, mesmo com a adoção do fundo branco, o resultado pode ser a percepção de uma imagem escura (Figura 1F). Distintas fontes de iluminação, assim como a própria luz solar, na presença (~7000K) ou ausência de nuvens (~5500 a 6000K) ou em distintos horários do dia (ao nascer e ao pôr do sol, ~3000 K), expressam diferentes temperaturas de cor. Nesse sentido, a adoção de um valor K fixo, e/ou de acordo com o ambiente de captura, pode ser relevante comparativamente ao uso do

modo automático, particularmente em experimentos que envolvam vários ciclos de rebrotação ao longo das distintas estações da época de crescimento das pastagens.

Por fim, é importante considerar o desenvolvimento de algoritmos de visão computacional que extraiam as informações dos canais RGB das imagens e calculem os diferentes índices de vegetação que possam ser utilizados na correlação com o status nutricional de N em gramíneas. Há ainda de se incorporar o aprendizado de máquinas e a inteligência artificial para automação do processo de recomendação de adubação nitrogenada de forma correta.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de imagens digitais para extração de índices de vegetação baseados no RGB possui amplo potencial de uso no monitoramento do status nutricional de gramíneas forrageiras tropicais utilizadas sob pastejo. Todavia, para que as informações obtidas em campo possam gerar dados acurados e precisos, certos desafios ainda precisam ser superados. Monitorar a dinâmica de crescimento da pastagem, a dinâmica da população de plantas e o perfil etário dos perfilhos que compõe a população pode ser essencial para a compreensão das variações nas assinaturas espectrais ao longo da estação de crescimento. O perfil etário da população pode se sobrepor aos parâmetros do status nutricional na definição das assinaturas espectrais em pastagens, embora não haja informações na literatura que permitam avaliar tal hipótese.

Outro desafio consiste na minimização de ruídos decorrentes do ambiente de captura sobre as imagens, bem como a definição de protocolos de aquisição que incluam a descrição das configurações do dispositivo em uso (câmeras comerciais, *smartphones* ou outros). Dispositivos para aquisição definidos para modo automático ou a definição manual de parâmetros como sensibilidade ISO, velocidade do obturador, tempo de exposição e Balanço do Branco afetam a qualidade da imagem, e impõe alterações irreversíveis na cor da imagem, podendo torna-las impróprias para análise.

Esta revisão não teve o objetivo de finalizar a discussão em relação aos desafios no uso de índices de vegetação baseados no RGB para diagnose nutricional em gramíneas sob pastejo, mas sim, fomentar o tema, que tem uma importância tecnológica, econômica e ambiental. A visão computacional a partir do uso de mecanismos de captura de imagens RGB de baixo custo e alta qualidade poderá proporcionar o manejo racional da pastagem, com ganhos significativos aos sistemas de produção.

■ AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio a este projeto à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (2020/00345-1), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (314985/2018-2) e, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

■ REFERÊNCIAS

1. ABREU, J.B.R.; MONTEIRO, F.A. Produção e nutrição do capim Marandu em função de adubação nitrogenada e estádios de crescimento. **Boletim de Indústria Animal**, v. 56, n. 2, p. 137-146, 1999.
2. ALI, M.M.; AL-ANI, A.; EAMUS, D.; TAN, D.K.Y. Leaf nitrogen determination using non-destructive techniques: A review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 7, p. 928-953, 2017.
3. BARBEDO, J.G.A. Detection of nutrition deficiencies in plants using proximal images and machine learning: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 482-492, 2019.
4. BARESEL, J.P.; RISCHBECK, P.; HU, Y.; KIPP, S.; BARMEIER, G.; MISTELE, B.; SCHMIDHALTER, U. Use of a digital camera as alternative method for non-destructive detection of the leaf chlorophyll content and the nitrogen nutrition status in wheat. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 140, p. 25-33, 2017.
5. CAMINHA, F.O.; DA SILVA, S.C.; PAIVA, A.J.; PEREIRA, L.E.T.; MESQUITA, P.D.; GUARDA, V.D.A. Estabilidade da população de perfilhos de capim-marandu sob lotação contínua e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n.2, p. 213-220, 2010.
6. CATUREGLI, L.; LULLI, F.; FOSCHI, L.; GUGLIELMINETTI, L.; BONARI, E.; VOLTERRANI, M. Monitoring turfgrass species and cultivars by spectral reflectance. **European Journal of Horticulture Science**, v.79, n.3., p.97-107, 2014.
7. CAVALCANTI, A.C.; PARTELLI, F.L.; GONTIJO, I.; DIAS, J.R.M.; FREITAS, M.S.M.; CARVALHO, A.J.C.D. Establishment of leaf nutrient patterns for the nutritional diagnosis of *Urochloa brizantha* pastures in two seasons. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.43, e50359, 2021.
8. FENG, H.; CHEN, G.; XIONG, L.; LIU, Q.; YANG, W. Accurate digitization of the chlorophyll distribution of individual rice leaves using hyperspectral imaging and an integrated image analysis pipeline. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 1238, 2017.
9. FU, Y.; YANG, G.; PU, R.; LI, Z.; LI, H.; XU, X.; SONG, X.; YANG, X.; ZHAO, C. An overview of crop nitrogen status assessment using hyperspectral remote sensing: Current status and perspectives. **European Journal of Agronomy**, v. 124, 126241, 2021.
10. HAIDER, T.; FARID, M.S.; MAHMOOD, R.; ILYAS, A.; KHAN, M.H.; HAIDER, S.T.-A.; CHAUDHRY, M.H.; GUL, M. A computer-vision-based approach for nitrogen content estimation in plant leaves. **Agriculture**, v. 11, n. 8, 766, 2021.

11. HASHIMOTO, H.; URAGAMI, C.; COGDELL, R.J. Carotenoids and photosynthesis. Carotenoids in nature. p. 111 – 139. In: STANGE, C. **Carotenoids in Nature**. Subcellular Biochemistry, v. 79. Springer: Switzerland, 2016.
12. HU, H.; ZHANG, J.; SUN, X.; ZHANG, X. Estimation of leaf chlorophyll content of rice using image color analysis. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 2, p. 185-190, 2013.
13. JESUS SILVA, A.J. Metodologia de ajuste de parâmetros para aquisição de imagens de boa qualidade utilizando uma câmera fotográfica semiprofissional comercial. **Revista Sítio Novo**, v. 4, n. 4, p. 202-216, 2020.
14. JIANG, J.; CAI, W.; ZHENG, H.; CHENG, T.; TIAN, Y.; ZHU, Y.; EHSANI, R.; HU, Y.; NIU, Q.; GUI, L.; YAO, X. (2019). Using digital cameras on an unmanned aerial vehicle to derive optimum color vegetation indices for leaf nitrogen concentration monitoring in winter wheat. **Remote Sensing**, v. 11, n. 22, p. 2667, 2019.
15. LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F.A. Diagnose nutricional de nitrogênio no capim-aruaana em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 829-837, 2006.
16. LEE, K.; LEE, B. Estimation of rice growth and nitrogen nutrition status using color digital camera image analysis. **European Journal of Agronomy**, v. 48, p. 57-65, 2013.
17. MANARIM, C.A.; MONTEIRO, F.A. Nitrogênio na produção e diagnose foliar do capim-mombaça. **Boletim de Indústria Animal**, v. 59, n. 2, p. 115-123, 2002.
18. MANCIN, W.R.; PEREIRA, L.E.T.; CARVALHO, R.S.B.; SHI, Y.; SILUPU, W.M.C.; TECH, A.R.B. The use of computer vision to classify Xaraés grass according to nutritional status in nitrogen. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, e20207797, 2022.
19. MILAGRES, C.D.C.; FONTES, P.C.R.; ABREU, J.A.A.D.; SILVA, J.M.D.; FIGUEIREDO, M. N.D. Plant growth stage and leaf part to diagnose sweet corn nitrogen status using chlorophyll sensor and scanner image analysis. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 18, p. 2783-2792, 2021.
20. MOHAN, P.J.; GUPTA, S.D. Intelligent image analysis for retrieval of leaf chlorophyll content of rice from digital images of smartphone under natural light. **Photosynthetica**, v. 57, n. 2, p. 388-398, 2019.
21. MU, X.; CHEN, Q.; CHEN, F.; YUAN, L.; MI, G. Within-leaf nitrogen allocation in adaptation to low nitrogen supply in maize during grain-filling stage. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 699, 2016.
22. MU, X.; CHEN, Y. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 76-82, 2021.
23. MURPHY, R.J.; UNDERWOOD, A.J.; JACKSON, A.C. Field-based remote sensing of intertidal epilithic chlorophyll: Techniques using specialized and conventional digital cameras. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 380, n. 1-2, p. 68-76, 2009.
24. PAIVA, A.J.; DA SILVA, S.C.; PEREIRA, L.E.T.; CAMINHA, F.O.; PEREIRA, P.M.; GUARDA, V.D.A. Morphogenesis on age categories of tillers in marandu palisadegrass. **Scientia Agricola**, v. 68, n.6, p. 626-631, 2011.

25. PAIVA, A.J.; DA SILVA, S.C.; PEREIRA, L.E.T.; GUARDA, V.D.A.; PEREIRA, P.M.; CAMINHANA, F.O. Structural characteristics of tiller age categories of continuously stocked marandu palisade grass swards fertilized with nitrogen. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n.1, p. 24-29, 2012.
26. PATANE, P.; VIBHUTE, A. Chlorophyll and nitrogen estimation techniques: A Review. **International Journal of Engineering Research and Reviews**, v. 2, n. 4, p. 33-41, 2014.
27. PEREIRA, L.E.T.; SOUSA, L.J.; BERTIPAGLIA, L.M.A.; HERLING, V.R.; TECH, A.R.B. Critical concentration and management of nitrogen fertilization in the establishment of *Brachiaria* hybrid Mavuno. **Revista Ciência Agronômica**, v.52, n.4, e20207625, 2021.
28. REYES, J.F.; CORREA, C.; ZUNIGA, J. Reliability of different color spaces to estimate nitrogen SPAD values in maize. **Computers and Electronics in Agriculture, Computers and Electronics in Agriculture**, v. 143, p. 14-22, 2017.
29. RORIE, R.L.; PURCELL, L.C.; KARCHER, D.E.; KING, C.A. The assessment of leaf nitrogen in corn from digital images. **Crop Science**, v. 51, n.5, p. 2174-2180, 2011.
30. SABERIOON, M.M.; AMIN, M.S.M.; ANUAR, A.R.; GHOLIZADEH, A.; WAYAYOK, A.; KHAI-RUNNIZA-BEJO, S. (2014). Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 32, p. 35-45, 2014.
31. SANTOS, A.R. **Diagnose nutricional e respostas do capim-braquiária submetido a doses de nitrogênio e enxofre**. 115 p. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1997.
32. SCHLEMMER, M.; GITELSON, A.; SCHEPERS, J.; FERGUSON, R.; PENG, Y.; SHANAHAN, J.; RUNDQUIST, D. Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 25, p. 47-54, 2013.
33. TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Editora Artemed: Porto Alegre, Brazil, 2013.
34. TAVAKOLI, H.; GEBBERS, R. Assessing nitrogen and water status of winter wheat using a digital camera. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 157, p. 558-567, 2019.
35. URBAN, A.; ROGOWSKI, P.; WASILEWSKA-DĘBOWSKA, W.; ROMANOWSKA, E. Understanding maize response to nitrogen limitation in different light conditions for the improvement of photosynthesis. **Plants**, v. 10, n. 9, 1932, 2021.
36. VESALI, F.; OMID, M.; KALEITA, A.; MOBLI, H. Development of an android app to estimate chlorophyll content of corn leaves based on contact imaging. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 116, p. 211-220, 2015.
37. XIONG, D.; CHEN, J.; YU, T.; GAO, W.; LING, X.; LI, Y.; PENG, S.; HUANG, J. SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2015.
38. ZHANG, Y.; TANG, L.; LIU, X.; LIU, L.; CAO, W.; ZHU, Y. Modeling dynamics of leaf color based on RGB value in rice. **Journal of Integrative Agriculture**, v.13, n. 4, p. 749-759, 2014.

39. ZHAO, J.; ZHANG, Y.; TAN, Z.; SONG, Q.; LIANG, N.; YU, L.; ZHAO, J. Using digital cameras for comparative phenological monitoring in an evergreen broad- leaved forest and a seasonal rain forest. **Ecological Informatics**, v. 10, p. 65-72, 2012.
40. ZHOU, K.; CHENG, T.; ZHU, Y.; CAO, W.; USTIN, S. L.; ZHENG, H.; YAO, X.; TIAN, Y. Assessing the impact of spatial resolution on the estimation of leaf nitrogen concentration over the full season of paddy rice using near-surface imaging spectroscopy data. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 964, 2018.
41. ZILBERMAN, A.; ASHER, J.B.; SARIG, S.; DUDAI, M.; SHLEVIN, E.; KOPEIKA, N.S. Applicability of digital color imaging for monitoring nitrogen uptake and fertilizer requirements in crops. In: **Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology XX**. Proceedings Volume 10783. SPIE Remote Sensing, Berlin, Germany, 2018.
42. WANG, Y.; WANG, D.; ZHANG, G.; WANG, J. Estimating nitrogen status of rice using the image segmentation of GR thresholding method. **Field Crops Research**, v. 149, p. 33-39, 2013.
43. WANG, Y.; WANG, D.; SHI, P.; OMASA, K. Estimating rice chlorophyll content and leaf nitrogen concentration with a digital still color camera under natural light. **Plant Methods**, v. 10, 36, 2014.
44. WANG, Z.; CHEN, J.; FAN, Y.; CHENG, Y.; WU, X.; ZHANG, J.; WANG, B.; WANG, X.; YONG, T.; LIU, W.; LIU, J.; DU, J.; YANG, W.; YANG, F. Evaluating photosynthetic pigment contents of maize using UVE-PLS based on continuous wavelet transform. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 169, 105160, 2020.

Eficiência de biopolímeros como inoculantes de *Lactobacillus* para ensilagem de mandioca

**Adrielle de Melo Cezar Almeida
Canabarro**
UFAL

Antonia Juliana Xavier Fernandes
UFAL

Crisea Cristina Nascimento de Cristo
UFAL

Yamina Coentro Montaldo
UFAL

Lívia Ribeiro da Silva
UFAL

Bruna Brasil Oliveira
UFAL

Elizabeth Simões do Amaral Alves
UFAL

Tania Marta Carvalho dos Santos
UFAL

RESUMO

Bactérias como *Lactobacillus* podem ser encontradas colonizando epifiticamente as folhas de mandioca (*Manihot succulenta* Crantz) e são consideradas essenciais para processos de fermentação de ensilagens. Essa característica faz dessas bactérias, importantes inoculantes de interesse zootécnico. Diante disso, objetivou-se por meio desse estudo avaliar a eficiência de biopolímeros como inoculantes de *Lactobacillus* na ensilagem de mandioca. Foram utilizados duas cepas de *Lactobacillus* e composições de inoculantes formuladas com carboximetilcelulose (CMC) adicionada de amido de milho (CMC/amido) e fécula de mandioca (CMC/fécula) nas proporções de 100/0 a 20/80. A partir das proporções citadas foram preparadas as misturas poliméricas nas concentrações de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5 e 2,0 (g.L⁻¹). Os veículos foram acondicionados em frascos e em seguida, inoculado 1 mL da suspensão bacteriana. Foi avaliada a viabilidade dos inóculos aos 15, 30, 60 e 90 dias após a inoculação por meio do método de Número Mais Provável (NMP). As misturas CMC/Amido e CMC/fécula de mandioca demonstraram capacidade de manter a sobrevivência das células dos isolados, sendo aplicáveis como bioinoculantes em ensilagens.

Palavras-chave: Carboximetilcelulase, Bactéria, Viabilidade Biológica.

■ INTRODUÇÃO

As bactérias como *Lactobacillus* da microbiota epifítica são essenciais para fermentação das silagens. Os inoculantes bacterianos abrangem a classe de aditivos com mais rápido desenvolvimento e adoção em todo o mundo, devido principalmente à facilidade de manipulação, ausência de toxicidade para os mamíferos, e grande disponibilidade no mercado.

Dentre os inoculantes microbianos, os efeitos do *Lactobacillus buchneri* têm sido mais estudados, verificando-se diminuição do pH, da concentração de ácido láctico e do número de leveduras, bem como, elevação da concentração de ácido acético e promoção de maior estabilidade aeróbica das silagens (KLEINSCHMIT; KUNG JUNIOR, 2006; MENDES *et al.*, 2008).

A busca por novos materiais e produtos com características biodegradáveis, não tóxicos, hidrossolúveis, obtidos de fontes renováveis e de baixo custo; associada com estirpes microbianas eficientes, para uso biotecnológico na agropecuária, tem sido objeto de investigação científica em todo mundo.

Bumbieris Junior *et al.* (2011) afirmam que os aditivos para silagem mais utilizado no Brasil atualmente, são os inoculantes microbianos, também existindo vários outros tipos de aditivos, como aditivos nutrientes que classificam-se em absorventes.

Considerando a importância da silagem no contexto da armazenagem de forragens na propriedade rural e os problemas decorrentes do crescimento de micro-organismos, os inoculantes microbianos visam também conferir maior estabilidade aeróbia após a abertura dos silos, visando manter a qualidade da silagem ao entrar em contato com o ar após a fermentação, inibindo crescimento desses microrganismos indesejáveis (SILVA *et al.*, 2010).

Diante do exposto, objetivou-se por meio desse estudo avaliar a eficiência de biopolímeros como inoculantes de *Lactobacillus*.

■ MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os polímeros carboximetilcelulose (CMC), amido de milho e fécula de mandioca. Foram preparadas misturas variando a concentração de carboximetilcelulose, CMC/amido e CMC/fécula de mandioca nas proporções de 100/0 a 20/80. A partir das proporções citadas foram preparadas as misturas poliméricas nas concentrações de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5 e 2,0 (g.L⁻¹) em água destilada.

A seguir, o veículo/mistura polimérica foi transferido para frascos de vidro, contendo 10 mL de cada veículo e selados. Posteriormente cada frasco foi inoculado com 1 mL de uma suspensão bacteriana contendo 10⁹ células.mL⁻¹ dos isolados de *Lactobacillus* ajustada para densidade ótica igual a 1 ($\lambda=540\text{nm}$), correspondente a 10⁹ células.mL⁻¹ de

inóculo. A sobrevivência dos micro-organismos foi analisada aos 15, 30, 60 e 90 dias após a inoculação, utilizando o método do número mais provável (NMP).

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não se verificou variação entre os três isolados com relação à manutenção das células viáveis, provavelmente por apresentarem características fisiológicas similares. Para os tratamentos CMC/Amido e CMC/Fécula de mandioca não foi observado declínio no número de células viáveis independente do material ou da concentração, permanecendo em 10^9 células.g⁻¹.

Com relação CMC foi observado variação no número de células viáveis, com queda populacional ao redor de 10^8 e 10^6 células.g⁻¹ aos 60 e 90 dias respectivamente para CMC/amido e CMC/fécula. Não se verificou nos veículos testados alterações como perda de viscosidade, causada por efeitos físicos da autoclavagem.

Comparando o comportamento individual dos isolados em relação à formulação de biopolímeros, observa-se que *Lactobacillus* possui maior afinidade à fécula de mandioca. Desse modo, a combinação CMC/fécula é promissora como bioinoculante desse gênero de bactérias fermentativas com finalidades de aplicações zootécnicas como processos de ensilagem.

O encapsulamento de micro- organismos fermentativos para uso alimentício tem sido estudado, visando a incrementação e viabilidade das células após o processo, uma vez que os necessitam passar por um tempo de prateleira (Shell-life). Assim, Cedran *et al.* (2015) afirmam que para obter esse resultado, é necessário que a inoculação desses micro-organismos deve ser realizada em valores superestimados, ou seja, o número inicial de células deve ser inoculado um pouco acima para que seja garantida sobrevivência de um maior número desejado ao produto final.

Farias (2017), ao estudar a sobrevivência de isolados de *Lactobacillus* observou que o uso de alginato-quitosana apresenta uma alta taxa de viabilidade e sobrevivência de *L. casei*, assim, pode-se afirmar que biopolímeros são capazes de aplicações no uso como bioinoculantes para fins zootécnicos.

■ CONCLUSÕES

As misturas CMC/Amido e CMC/fécula de mandioca demonstraram capacidade de manter a sobrevivência das células dos isolados, sendo aplicáveis como bioinoculantes em ensilagens.

■ AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

■ REFERÊNCIAS

1. CEDRAN, M. F.; RODRIGUES, F. J.; BOA MORTE, A. Q.; SHIGEMATSU, E.; DORTA, C. Influência da Quitosana sobre a Viabilidade Celular do Probiótico *Lactobacillus acidophilus* LA3. In: Simpósio de Bioquímica e Biotecnologia, 5., 2015, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2015.
2. FARIAS, T. G. S. **Viabilidade de *Lactobacillus rhamnosus* e *Lactobacillus casei* encapsulados em sorvete de cajá**. 74 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.4005- 4013, 2006.
3. KLEINSCHMIT, D.H.; KUNG JUNIOR.,L. Metaanalysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages. **Journal of Dairy Sciences**, v. 8, n. 10, p. 4005-4013, 2006.
4. SILVA, J. M.; CARNAÚBA, J. P.; SILVA, I. O.; DE ANDRADE, D. E. G. T.; DE MIRANDA, E. C.; AMORIM, A. P. R. Influência de inoculante bacteriano- enzimático sobre a microbiota e qualidade nutricional de silagens de grãos úmidos de milho. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 11, n. 1, p.62-72, 2010.
5. BUMBIERIS JUNIOR, V. H.; OLIVEIRA, M. R.; BARBOSA, M. A. F.; JOBIM, C.C. Use of winter cultures for forage conservation. In: International Symposium on Forage Quality and Conservation, 2., **Anais...** São Pedro, 2011. Piracicaba: FEALQ, p. 65-83.

Manejos nutricionais para o combate da hipocalcemia em vacas leiteiras

| **Erick Tonello Barreto**
UFPEL

| **Melina Tamiozzo Calegari**
UFPEL

| **Carla Joice Härter**
UFPEL

RESUMO

Visto a importância da bovinocultura leiteira para economia do país, e frente a crescente intensificação e profissionalização da cadeia produtiva, cada vez mais temos maiores produções de leite por área, o que significa, rebanhos mais produtivos, e com isto maiores desafios para vacas de alta produção. Rebanhos mais especializados e produtivos, no geral apresentam maior suscetibilidade a doenças, sendo um dos períodos mais críticos, o período de transição, período este que vai de 21 dias pré-parto até 21 dias pós-parto. Dentre as diversas doenças que ocorrem no período de transição, a hipocalcemia tem grande importância devido sua alta incidência nos rebanhos comerciais e por se tratar de uma porta de entrada para outras enfermidades. Frente a isto, esta revisão bibliográfica buscou descrever manejos nutricionais visando o combate da hipocalcemia, enfatizando dietas com diferença cátion-aniônica negativa e altos níveis de cálcio em dietas pré-parto, visto que há a possibilidade dietas com este perfil ajudarem no combate desta doença. Porém, faz-se necessário mais estudos com melhores delineamentos para maior aprofundamento do conhecimento deste tipo de manejo frente ao combate da hipocalcemia.

Palavras-chave: Cálcio, Dietas pré-Parto, DCAD, Febre do Leite.

■ INTRODUÇÃO

A produção leiteira nacional atingiu em 2020 mais de 25 bilhões de litros de leite inspecionado, um crescimento de 2,1% em relação ao ano de 2019. De dentre todos os estados da união, cinco estados se destacam por produzir em torno de 70% deste volume, sendo, Minas Gerais 27,11%, Paraná 12,45%, Rio Grande do Sul 12,26%, Goiás 9,13% e Santa Catarina com 8,72%. A profissionalização do setor fica mais clara através de um dado que aponta que as produções dos 100 maiores produtores do Brasil cresceram 8,67% entre os anos de 2018 e 2019, indicando movimento de concentração produtiva e ganho de escala. Isto se deu devido a profissionalização da cadeia produtiva, principalmente através da maior especialização de nosso rebanho e dos sistemas de produção. No caso da especialização dos animais, acaba culminando em maiores produções, mas também em maiores riscos à saúde dos animais, visto que com o aumento de produção há maiores desafios para os animais (ANUÁRIO DO LEITE EMBRAPA, 2021).

Os animais estão diariamente expostos a fatores de riscos que podem lhes ocasionar certas complicações em sua lactação, o que terá impacto econômico para a atividade leiteira. As doenças mais relatadas e com maior impacto econômico, são, febre do leite (hipocalcemia), retenção de placenta, mastite, cetose, deslocamento de abomaso e problemas de casco (MCLAREN *et al.*, 2006). Dependendo de diversos fatores como condições ambientais adversas, erros de manejo, falhas nutricionais, entre outras, podem ser ainda mais acentuadas a suscetibilidade a doenças (LEAN, Ian John, 2010).

O período de transição, que vai de 21 dias pré-parto aos 21 dias pós-parto, é um dos períodos mais críticos dentre os ciclos produtivos da vaca. É neste período que a vaca fica mais suscetível a doenças, pois está passando por uma fase muito estressante devido seu final de gestação e sob diversas mudanças fisiológicas, o que agrava seu status imunitário (MARTINEZ *et al.*, 2012).

Dentre estas doenças destaca-se a hipocalcemia, que é decorrente de uma falha na homeostase do cálcio (baixos níveis de cálcio do sangue), que ocorre próximo ao parto e pode se estender por alguns dias pós-parto, principalmente devido a uma maior demanda de cálcio (Ca) pela glândula mamaria para produção de colostro, sendo seu período mais crítico as primeiras 72 horas pós-parto (MARCONDES *et al.*, 2019). A hipocalcemia tem grande importância pois tem alta incidência em grande parte dos rebanhos mundiais, especialmente em rebanhos comerciais mais especializados para produção, e também por se tratar de uma doença que predispõe as demais doenças, ou seja, atua como porta de entrada para as outras enfermidades (VENJAKOB; BORCHARDT; HEUWIESER, 2017). Dessa forma, nesse capítulo serão abordados aspectos relacionados a homeostase do Ca em vacas bem como manejos com ênfase na redução da incidência de hipocalcemia.

■ HIPOCALCEMIA E HOMEOSTASE DO CÁLCIO

A hipocalcemia ocorre quando os níveis de cálcio sanguíneo caem demasiadamente e o corpo não consegue restabelecer de forma eficiente os níveis normais para o sistema sanguíneo, fazendo com que o animal fique por um período com os níveis mais baixos que os requeridos. Esta doença ocorre, pois, no final da gestação da vaca há uma maior demanda de Ca de forma súbita, ou seja, em curto espaço de tempo. Antes do parto a vaca tem de destinar uma grande quantidade de Ca principalmente para a glândula mamária para colostrogênese, porém, seu sistema de homeostase do Ca leva um tempo até se adequar fisiologicamente para ter maior disponibilidade de Ca no sangue (FEIJÓ, 2016).

Existem duas principais formas de hipocalcemia, a hipocalcemia subclínica, a qual os níveis de Ca no sangue estão entre 5,0 e 8,5mg/dL (1,4 a 2,0mmol/L), a hipocalcemia clínica (febre do leite), quando os níveis de Ca estão abaixo de 5,0mg/dL (<1,4mmol/L), e quando os níveis sanguíneos estão nos parâmetros normais, entre 8,6 e 10mg/dL (2,1 a 2,5mmol/L), chama-se normocalcemia (KIMURA; REINHARDT; GOFF, 2006). Em caso de hipocalcemia subclínica, o animal apresenta sintomas como: redução da movimentação, diminuição do apetite, ligeira excitação e tremores musculares. Quando o animal apresenta-se em hipocalcemia clínica, encontra-se em decúbito, com a cabeça para um dos lados e virada para cavidade torácica, também apresenta hipotermia e depressão da consciência e dependendo da severidade do caso, podendo levar o animal a óbito (FERNANDES, 2021).

Quando o animal está em normocalcemia tem o Ca sanguíneo entre 8,6 e 10,0mg/dL, 50% deste Ca está ligado a proteínas e 42 a 48% está na forma ionizada. A forma ionizada é a porção biologicamente ativa de Ca no sangue, sendo que quando o sangue está mais ácido está porção se encontra próxima de 48%, e quando mais alcalina próximo de 42%. Por exemplo, em uma vaca de 500kg de peso vivo há aproximadamente 8,0 a 9,0g de Ca nos fluidos extracelulares, e 3,0-3,5g de Ca ionizado (prontamente disponível) na circulação sanguínea, porém, uma vaca no início de lactação retira de 20 a 30g Ca/dia pela glândula mamária para a sua deposição no colostro, gerando um déficit de Ca na corrente sanguínea. O colostro demanda em torno de 1,7 a 2,3gCa/Kg de Colostro, e o leite aproximadamente 1,1gCa/Kg de Leite. Mas, não falta Ca no organismo do animal, os ossos e dentes (esqueleto) são um grande banco de Ca. No caso exemplificado, uma vaca de 500Kg de peso vivo tem em torno de 7,8 a 8,5Kg de Ca fixado nos ossos e dentes, mas este mineral não está prontamente disponível para ser usado em um caso de grande demanda, ele precisa ser mobilizado pelos sistemas que mantêm a homeostase do Ca, os quais possuem respostas mais lentas se não pré-adaptados a alta demanda deste mineral para o período (GOFF, 2000).

Segundo Thilsing-Hansen *et al.* (2002), para absorção significativa de Ca de forma ativa no intestino, são necessárias pelo menos 24 horas de estimulação do tecido alvo

para ação efetiva da 1,25dihidroxicolecalciferol (calcitriol), enquanto que para que ocorra reabsorção óssea significativa leva em torno de 48 horas de estimulação dos tecidos alvo. Para regulação de Ca no organismo existem três principais hormônios, a calcitonina, o paratormônio (PTH) e 1,25dihidroxicolecalciferol (calcitriol). A calcitonina produzida na glândula tireoide, é um hormônio hipocalcemiante, ou seja, quando tem excesso de Ca no organismo este hormônio é liberado na corrente sanguínea. A calcitonina inibe os osteoclastos e por consequência a mobilização de Ca nos ossos bem como faz com que o excesso de Ca seja eliminado e não mais absorvido no intestino (RODRÍGUEZ *et al.*, 2016). O PTH, produzido pela paratireoide, é hipercalcemiante, ou seja, faz o papel inverso da calcitonina, e atua para elevar os níveis de Ca sanguíneo. A elevação do Ca se deve à ação do PTH nas células alvo (osteoblastos e osteócitos ósseos, e células epiteliais tubulares renais). Existem três principais mecanismos regulados pelo paratormônio para homeostase do Ca, são eles: reabsorção óssea, absorção intestinal e controle da excreção renal. Nos ossos o PTH inibe os osteoblastos os quais estimulam os osteoclastos para realizar mobilização de Ca dos ossos. Nos rins o PTH atua aumentando a reabsorção do Ca, diminuindo a eliminação deste na urina e também estimula a síntese da vitamina D ativa. A forma ativa da vitamina D, 1,25 dihidroxicolecalciferol, ou ainda calcitriol, estimula a absorção ativa de Ca nos intestinos. (GOFF; LIESEGANG; HORST, 2014). Além disso, a vitamina D ativa também estimula a reabsorção óssea de Ca e P, bem como a reabsorção desses elementos a nível renal.

O PTH age nos receptores das células alvo, localizados nas superfícies das células ósseas e renais, estimulando o complexo adenilato ciclase, resultando na produção de AMPc (adenosina monofosfato cíclico) que agirá como um segundo mensageiro no citosol das células alvo, e somente após este processo que o PTH será efetivo nos tecidos alvo (tecido ósseo e rins) (GOFF, 2008). Os processos que envolvem a manutenção da homeostase do Ca podem ser rápidos (minutos), moderados (horas) ou de longo prazo (dias), e isto dependerá da demanda de Ca. Quando tiver uma pequena diminuição dos níveis de Ca plasmático, ocorrerá estímulo para liberação de PTH no sangue, que agirá nos receptores das células alvo e estimulará maior absorção de Ca via renal para suprir o déficit. Quando ocorrem demandas maiores de Ca, o PTH permanecerá por maior tempo agindo nos tecidos alvo, que a nível de rins, aumentará a conversão da vitamina D em 1,25 dihidroxicolecalciferol (forma ativa) e por consequência ocorrerá maior absorção ativa de Ca via renal, e a nível de tecido ósseo, sucederá na maior mobilização de Ca para a corrente sanguínea (SCHRÖDER; BREVES, 2006).

■ IMPACTOS DA HIPOCALCEMIA EM REBANHOS LEITEIROS

A bovinocultura leiteira tem grande importância econômica para o país, se destacando em produtividade. Os indicadores mostram crescimento anual de produção, que era de 24 bilhões de litros de leite inspecionado em 2018 e ultrapassou os 25 bilhões de litros em 2020 (ANUÁRIO DO LEITE EMBRAPA, 2021). Este grande potencial de crescimento produtivo da bovinocultura leiteira se deu principalmente pela especialização dos rebanhos leiteiros, via melhoramento genético, e também no aumento quantitativo e qualitativo na produção de alimentos para os rebanhos.

Rebanhos mais especializados e produtivos, são no geral mais suscetíveis a doenças, pois necessitam de maiores cuidados no seu manejo (FABRIS; MARCHIORO; RAMELLA, 2021). Dentre os períodos de produção da vaca leiteira, um dos que se destaca por ser um período de grande risco para obtenção de doenças, é o período de transição, período este que vai de 21 dias pré-parto até 21 dias pós-parto, e conforme Leblanc *et al.* (2006), 75% das doenças ocorrem no primeiro mês pós-parto. Esta fase é caracterizada como de risco pois estão ocorrendo diversas mudanças fisiológicas na vaca, sendo um período de grande desconforto, onde o animal tem que lidar com adversidades ambientais, o que potencializa o estresse deste animal e por consequência maior imunossupressão (LEBLANC *et al.*, 2006).

Dentre as doenças que ocorrem no período de transição, a hipocalcemia é uma das mais importantes, pois tem grande impacto na saúde dos rebanhos leiteiros e apresenta alta incidência. Em rebanhos brasileiros a incidência de hipocalcemia (clínica e subclínica) varia de 40 – 84% (LEÃO, 2019; MELO, 2016; NEGRO, 2019). Em estudo conduzido em com 1380 vacas de 115 rebanhos na Alemanha observou-se que a incidência de hipocalcemia clínica e subclínica entre as vacas multíparas foi respectivamente, 8,6% e 47,6%, e para primíparas foram observados apenas casos de hipocalcemia subclínica, com incidência de 5,7% (Venjakob *et al.*, 2017).

Devido à alta incidência da hipocalcemia nos rebanhos é preciso uma maior atenção pois se trata de uma doença de entrada para as demais. Vacas com hipocalcemia, além de terem sua produção e fertilidade comprometida, tem maiores chances de se serem acometidas por diversas doenças, dentre elas as principais são: mastites, metrites, cetose, retenção de placenta e deslocamento de abomaso (LEAN, 2015; LEBLANC *et al.*, 2006; MARTINEZ *et al.*, 2012).

Os fatores predisponentes a hipocalcemia são: raça, idade e dieta. Animais da raça Jersey tem maior predisposição a hipocalcemia por ter menores quantidades de receptores de 1,25 dihidroxicolecalciferol em comparação com a raça Holandesa, isto afeta diretamente a absorção intestinal de Ca. Com o aumento da idade e lactações os animais tendem a terem aumento de produção de leite, o que demanda maior aporte de Ca para a glândula mamaria.

Também com o aumento da idade diminui a capacidade de mobilização de Ca pelo menor número de osteoblastos e osteoclastos ativos na superfície óssea, e menor quantidade de receptores para 1,25 dihidroxicalciferol, diminuindo a resposta ao hormônio PTH e no declínio da absorção ativa de Ca via intestinal (HORST *et al.*, 1997). E em relação a dieta, diversos manejos irão afetar (positiva ou negativamente) a homeostase do Ca, sendo também a forma na qual temos a chance de interceder para tentar amenizar os diversos problemas causados pela hipocalcemia. Outros fatores também podem auxiliar no agravamento da doença, como, escore de condição corporal e condições ambientais, as quais irão interferir principalmente no consumo de matéria seca (MS) das vacas (GOFF; LIESEGANG; HORST, 2014).

Como o Ca está diretamente ligado, entre outras funções, a função muscular, quando há queda de Ca sanguíneo, esta atividade acaba sendo prejudicada, tanto movimentos (contrações) musculares voluntários como involuntários. Os distúrbios nas atividades musculares involuntárias acabam afetando a musculatura lisa, que por sua vez prejudicam diversas funções essenciais para o animal, como por exemplo, motilidade do trato gastrointestinal, funções do sistema reprodutivo e imunitário (GOFF, 2018).

Jorgensen *et al.* (1998), constataram em seu experimento que após a indução de vacas a hipocalcemia ocorreu menor motilidade gastrointestinal, sendo assim, esta situação pode auto agravar o estado hipocalcêmico, pois a partir do momento em que se reduz a motilidade gastrointestinal, também é reduzido o consumo de MS, e por consequência teremos menor aporte de nutrientes ao animal. Também foi constatado que a motilidade ruminal foi afetada muito antes do animal apresentar sinais clínicos de hipocalcemia. Esta debilidade do trato gastrointestinal pode ser porta de entrada para outras doenças, como por exemplo, cetose, visto que será agravado o balanço energético negativo no pós-parto imediato, devido ao menor consumo de alimentos.

Segundo Martinez (2012), vacas acometidas com hipocalcemia subclínica (Ca sérico entre 5,0 e 8,5mg/dL), obtiveram maiores incidências de metrite do que vacas normocalcêmicas. Também foi constatado em vacas com hipocalcemia subclínica, uma menor concentração sanguínea de neutrófilos passando por fagocitose e explosão oxidativa, do que em vaca normocalcêmicas, o mesmo foi encontrado por Ducusin *et al.* (2003). Já Horst e Jorgensen (1982), encontraram concentrações elevadas de cortisol em vacas hipocalcêmicas, ou seja, há queda de eficiência no sistema imunitário devido a hipocalcemia. Martinez *et al.*, (2012), também observou que a taxa de prenhez foi reduzida e maior intervalo até a prenhez em vacas hipocalcêmicas em comparação às normocalcêmicas.

Nota-se, portanto, que inúmeros são os prejuízos ao um produtor quando seu rebanho é acometido pela hipocalcemia e devido a elevada incidência dessa doença, faz-se necessário buscar entender os manejos cabíveis para evitar ou contornar essa doença.

Como já mencionado anteriormente, o manejo nutricional é um dos principais pontos que podem ser acessados pelos técnicos e produtores para contornar o problema da hipocalcemia nos rebanhos.

■ MANEJOS NUTRICIONAIS PARA COMBATE A HIPOCALCEMIA

Diferença cátion-aniônica da dieta (DCAD)

O controle nutricional é um dos principais manejos no período de transição, para auxílio no combate da hipocalcemia. Entre os principais manejos nutricionais, estão as dietas com controle do balanço de cátions (íon com carga positiva) e ânions (íon com carga negativa), ou, diferença cátion-aniônica da dieta (DCAD), que é uma relação entre os principais cátions, potássio (K) e sódio (Na), e os principais ânions, cloro (Cl) e enxofre (S). No sangue o Na é o cátion primário, o Cl e o bicarbonato (em menor extensão) são os ânions primários. No meio intracelular o K é o cátion de maior expressão, e os aminoácidos e proteínas possuem carga negativa. No fluido ruminal, os principais cátions são o Na e o K, enquanto os ácidos graxos voláteis (AGV's) produzidos pela fermentação ruminal, servem como os ânions primários. Estes minerais são os principais reguladores osmóticos junto com íon Cl, os quais são absorvidos da dieta quase que completamente, e quando acima das necessidades do animal são excretados via urina. Apesar dos principais íons serem o K, Na e Cl, foi descoberto que o ânion S tem 60% da eficácia do Cl, por isto é usado em auxílio ao Cl para formular dietas aniônicas (ERDMAN; IWANIUK, 2017).

No geral a alimentação dos bovinos é composta em sua maior parte por forragens, as quais são ricas em K, sendo este, devido sua abundância na dieta e alta absorção, um dos principais cátions de impacto no DCAD. Quando se busca trabalhar com dietas com DCAD negativo no pré-parto, visando o controle da hipocalcemia, tenta-se reduzir ao máximo o fornecimento dos cátions K e Na, e fornecer maiores quantidades dos ânions Cl e S, tornando a dieta mais aniônica (RODRÍGUEZ *et al.*, 2016).

Ocorre que os excessos de ânions na dieta são excretados via urina, e se torna necessário cátions correspondentes para manter a eletro neutralidade, estimulando a excreção de íons de hidrogênio e Ca na urina. Esta perda de Ca via urina estimula os sistemas de homeostase do Ca, para que se tenha maior reabsorção óssea de Ca e maior absorção intestinal, visando suprimento do Ca perdido (GOFF, 2000). Essas dietas são comprovadamente eficazes no auxílio ao combate a hipocalcemia clínica, sendo seu principal problema a palatabilidade e sua influência no consumo de MS (THILSING- HANSEN; JORGENSEN; OSTERGAARD, 2002).

Dietas acidogênicas afetam o pH urinário e sanguíneo, sendo o método de análise do pH urinário o mais utilizado para controle da efetividade da dieta, devido sua praticidade e alta correlação com o DCAD. As duas fórmulas mais utilizadas para balanço destas dietas aniônicas são: $DCAD = (Na + K) - (Cl + S)$ proposta por Ender *et al.* (1971), e $DCAD = (Na + K) - (Cl + 0,6S)$ proposta por Goff *et al.* (2014). Apesar de existirem outras fórmulas, a pesquisa tem mostrado que os minerais de maior relevância para o balanço da DCAD são os pertencentes a estas fórmulas (CHARBONNEAU *et al.*, 2006).

A preconização de utilização de dietas com DCAD negativo, ou parcialmente acidificadas, é a diminuição do pH sanguíneo, no entanto, o pH sanguíneo somente será alterado quando as compensações respiratórias e renais forem incapazes de eliminar as cargas ácidas, sendo as variáveis mais afetadas durante a acidose o bicarbonato plasmático e o pH urinário. Em razão principalmente da alimentação, o pH urinário dos ruminantes é mais alcalino, variando de 7,4 a 8,4, mas como ele tem alta correlação com o pH sanguíneo, quando pH do sangue está mais baixo podemos ter pH de urina mais ácido. O pH sanguíneo varia normalmente dentro de uma faixa estreita que é de 7,31 a 7,53, e é regulado via rins, funções respiratórias e sistemas tampões. O princípio das dietas em diminuir o pH sanguíneo e ter uma acidose metabólica compensada, é que, com esta diminuição do pH sanguíneo os receptores das células alvo (tecido ósseo e rins), estarão com maior sensibilidade ao PTH (CONSTABLE, 1999; CORREA *et al.*, 2009).

Normalmente os animais encontram-se em alcalose metabólica, devido à alta ingestão de cátions (principalmente K, Na), e dependendo da fase em que o animal se encontra, isto não é um problema, por exemplo, para um animal lactante em situação de estresse térmico, é benéfico o aumento no consumo de alguns minerais em virtude à grande perda de eletrólitos. Porém, para o período pré-parto, ter dietas que predisponham a alcalose metabólica não é benéfico para o animal, visto que nesta condição, a conformação dos receptores do PTH nas células alvo mudariam sua estrutura, tornando o sistema de homeostase do Ca menos responsivo a este hormônio, potencializando o risco de hipocalcemia (ERDMAN e IWANIUK, 2017; GOFF, 2008).

Níveis de magnésio na dieta

Outro fator importante que prejudica o metabolismo do Ca, é a hipomagnesemia, que afeta de duas maneiras, primeiro reduzindo a secreção de PTH em resposta à hipocalcemia, e, em segundo lugar, reduzindo a sensibilidade dos tecidos alvo ao PTH. Em condições fisiológicas normais, a concentração de magnésio (Mg) no plasma do animal encontra-se normalmente entre 1,8 e 2,4 mg/dL, porém, quando há queda de Mg, independente da alcalose metabólica, pode afetar a eficácia de ação do PTH, sendo mais um agravante para os

sistemas de homeostase do Ca. Ocorre que quando o PTH age nas células alvo, ele aciona a proteína adenilato ciclase, que por sua vez, produzirá um segundo mensageiro, o AMP cíclico, o qual sinalizará para que ocorra a ação dos tecidos em resposta a queda do Ca, mas, a proteína adenilato ciclase possui sítios de ligação para o íon Mg, o qual em falta, afetará o desempenho desta proteína (CORBELLINI, 1998; GOFF, 2008).

Não há estoque facilmente mobilizável de Mg no corpo do animal. A manutenção da homeostase do Mg é quase totalmente dependente da sua absorção diária, advinda principalmente da dieta. Esta absorção em animais adultos ocorre principalmente no rúmen eretículo, e depende das concentrações solúveis de Mg na solução do fluído ruminal. A solubilidade do Mg depende do pH no fluído ruminal, quando este sobe mais que 6,5 a solubilidade é reduzida drasticamente. Quando a dieta possui baixos níveis de magnésio, a principal forma de absorção é por transporte ativo através da parede ruminal, que é prejudicada quando o rúmen contém altas concentrações de K, porém, o magnésio também pode ser absorvido de forma passiva, não sendo afetado pelo teor de K na dieta, mas, seria necessário maior nível de Mg na dieta (GOFF, 2018). Em sua meta-análise, Lean *et al.* (2006), constatou que o aumento de 0,3% para 0,4% de Mg na MS da dieta, diminuiu em 62% o risco de febre do leite. Contudo, chegou-se ao consenso de que níveis de 0,35 a 0,40% de Mg na MS da dieta no pré-parto, seriam suficientes para contornar possíveis dificuldades perante o transporte ativo desse elemento (GOFF, 2008).

Níveis de cálcio na dieta pré-parto

Um dos métodos mais utilizados para maior controle da homeostase do Ca no período de transição é o fornecimento de dietas com baixos teores de Ca, pois estas causam diminuição do Ca plasmático, resultando na estimulação do PTH, que por sua vez, melhora a absorção de Ca nos intestinos, aumenta a mobilização óssea e reduz a perda urinária de Ca. Mas para que dietas com baixos níveis de Ca sejam eficientes em estimular o PTH, as dietas devem conter menos de 20gCa/dia, tornando difícil a sua oferta devido a disponibilidade do mineral nos componentes da dieta (principalmente forragens) (MARCONDES *et al.*, 2019; THILSING-HANSEN; JORGENSEN; OSTERGAARD, 2002).

As dietas com baixos teores de Ca são eficazes no controle da febre do leite, porém, como veremos mais a frente, este tipo de dieta afeta a quantidade de Ca plasmático, que por sua vez acaba não auxiliando no combate da hipocalcemia subclínica, que tem alta incidência nos rebanhos leiteiros e é porta de entrada para outras enfermidades (GOFF, 2008; GOINGS *et al.*, 1974; HORST e JORGENSEN, 1982).

A meta-análise de Oetzel (1991), constatou que os extremos de Ca na dieta, tanto altos como baixos, ajudaram no combate da hipocalcemia clínica, e que concentrações

intermediárias, aproximadamente 1,16% Ca na MS, foram as que apresentaram maior incidência de febre do leite. Outra meta-análise conduzida por Lean *et al.* (2006), também revelou a possibilidade de que dietas com alto Ca podem reduzir o risco de hipocalcemia, visto que o papel do Ca na hipocalcemia não é linear.

Segundo Degaris e Lean (2008), as vacas são mais dependentes da absorção intestinal de Ca do que da reabsorção óssea para manter a homeostase do Ca, e que a mobilização de Ca ósseo é mais lenta em vacas mais velhas e alimentadas com altos teores de Ca na dieta pré-parto. Os autores também constataram que, o aumento das concentrações de Ca na dieta pré-parto poderia aumentar o estoque de Ca por meio da absorção passiva, e quando combinada com uma dieta rica em Ca pós-parto, poderiam agir de forma protetora contra a febre do leite. Além disso, Degaris e Lean (2008) salientaram quanto a urgência de pesquisas com dietas ricas em Ca, para maior conhecimento e embasamento sobre o funcionamento e influência dos níveis de Ca nas dietas pré-parto. Liesegang *et al.* (2008), mostrou que os receptores dos tecidos alvo ao PTH estão em maior quantidade no duodeno e diminuem em direção ao intestino delgado bem como com o aumento da idade dos animais, e ressaltou que em animais adultos a absorção passiva de Ca, parece dominar quando a ingestão de Ca é adequada ou alta. Portanto, com base no discutido anteriormente, ressalta-se a necessidade de mais estudos da associação de dietas pré-parto, com DCAD negativo, em conjunto com maiores níveis de Ca na dieta, para melhor entender a amplitude de interferência fisiológica do Ca para manutenção da sua própria homeostase.

Goings *et al.* (1974), em estudo conduzido com vacas Jersey e Ayrshire demonstraram que dietas no pré-parto com baixos níveis de Ca, são eficazes para combate da hipocalcemia clínica, mas, quando se trata de hipocalcemia subclínica os resultados foram ruins tanto nos tratamentos de baixo Ca (8,0 g Ca/dia e 20,6 g P/dia), como no grupo controle (41 gCa/dia e 34 gP/dia). Além disto, quando a dieta com baixo nível de Ca foi administrada no pré-parto, ficou demonstrado que os níveis de Ca no sangue foram reduzidos. Na dieta controle a média do Ca plasmático nas vacas recebendo o controle foi maior (9,5mg/100ml) do que nas vacas que receberam baixo cálcio (9,0mg/100ml).

O trabalho realizado por Verdaris e Evans (1976), por sua vez, complementa a pesquisa anterior, no que se refere aos níveis de Ca na dieta aliado a variações no pH das mesmas (acidificadas com a utilização de ácido fosfórico, 75%). Foram avaliados os efeitos de quatro dietas, com 0,2% e 2,1% Ca na MS, ambas com pH 4,5 e 6,1. O estudo foi conduzido por 84 dias pré-parto mais 2 dias pós-parto. Foi observado que não houve diferença no consumo de MS entre as dietas e em média o Ca sérico se manteve menor durante o período experimental nas dietas com baixo Ca. As dietas com pH menores promoveram maior retenção de Ca, e dentre elas a dieta com maior teor de Ca apresentou maior quantidade retida de

Ca. No segundo dia pós-parto a absorção e retenção de Ca foi maior nas vacas recebendo dietas com alto Ca.

Resultados similares ao trabalho de Verdaris e Evans (1976), também já haviam sido reportados por Ender *et al.* (1971), quando testou o efeito de DCAD positivo e negativo associado a suplementação ou não de Ca no pré e pós-parto de vacas leiteiras. Esses autores observaram que nenhuma vaca apresentou febre do leite quando submetidas a dietas com DCAD, e que essas vacas estavam, em média, em equilíbrio de Ca sérico durante os primeiros quatro dias pós-parto. As vacas que apresentaram balanço de Ca sérico mais positivo, foram as vacas que receberam dieta com DCAD negativo e suplementação de Ca pré e pós-parto. Além disso, vacas que receberam dietas com DCAD positiva no pré e pós-parto, o grupo que não foi suplementado Ca tendeu mais a apresentar febre do leite do que o grupo suplementado com Ca.

Ryan *et al.* (2020), realizaram seu trabalho visando determinar os efeitos da dieta com diferença de DCAD, com inclusão de dois níveis de Ca, na saúde uterina pós-parto e na dinâmica de ovulação. Foi observado que as vacas que receberam dietas com DCAD negativo, apresentaram maiores níveis de Ca ionizado no sangue em comparação com o grupo controle. Este estudo concluiu que, vacas recebendo dietas com DCAD negativo e alto Ca tiveram um ambiente uterino melhorado, provavelmente devido ao alívio do estresse oxidativo e a uma resposta imunológica aprimorada ao parto, melhorando o desempenho reprodutivo no período pós-parto, por meio da diminuição dos dias até a primeira ovulação, e uma tendência de diminuir a taxa de serviço por concepção. Os autores também relataram que uma dieta pré-parto totalmente acidificada que não fornece Ca suficiente, pode ter tantos impactos negativos quanto dietas pré-parto com DCAD positivo.

Amundson *et al.* (2018), conduziram um estudo para avaliar como que a alimentação com dietas com DCAD negativo e diferentes níveis de Ca, afetaria a resposta da vaca à hipocalcemia induzida. Os autores constataram que as vacas recebendo dieta com DCAD negativo e alta inclusão de Ca (2,02% Ca na MS; 256,6 g Ca/dia) tiveram uma taxa mais lenta de declínio nas concentrações de Ca ionizado em resposta a indução de hipocalcemia a partir da infusão de EGTA 5% (ácido tetracético de etileno-glicol), em comparação as demais vacas recebendo níveis inferiores de Ca na dieta. Essas vacas que receberam alto cálcio também mantiveram concentrações mais altas de Ca ionizado ao longo de todo período experimental, e necessitaram menores quantidades de EGTA por maior período de tempo para rebaixar o Ca ionizado em comparação aos outros tratamentos. Os autores desse estudo também sugeriram que estudos mais detalhados são necessários sobre dietas para vacas no pré-parto, com DCAD negativo e com variações nos níveis de Ca com o objetivo de combater à hipocalcemia.

Chan *et al.* (2006), conduziram um estudo durante todo período de transição, no qual as vacas recebiam dieta pré-parto com DCAD negativo (-60mEq/Kg MS) e dois níveis de Ca (moderado com 0,99%Ca na MS e alto com 1,50%Ca na MS), observaram que as dietas contendo 0,99 ou 1,50%Ca na MS, mantiveram o Ca sérico em níveis adequados por volta do parto e resultaram em ingestão de MS e produção de leite semelhantes. Adicionalmente, em estudo realizado por Leno *et al.* (2017), foi observado que concentração plasmática de Ca pós-parto aumentou linearmente com a diminuição do DCAD (de +183mEq/KgMS a -74mEq/KgMS) durante o pré-parto, principalmente nas vacas com ≥ 3 lactações, as quais tiveram diminuição da prevalência de hipocalcemia subclínica no pós-parto. Nesse estudo o nível de Ca na dieta variou de 1,54 a 1,57%Ca na MS no pré-parto e no pós-parto todas as dietas continham 0,95%Ca na MS, e DCAD = +250mEq/KgMS. Já os resultados encontrados por Moore *et al.* (2000), ratificam os de Leno *et al.* (2017), no estudo o qual, também avaliaram as variações dos níveis de DCAD sobre o status do Ca, metabolismo energético e estado endócrino pré e pós-parto, porém, à medida que reduziam o DCAD aumentaram a quantidade de Ca na dieta. Esse estudo mostrou que as novilhas tiveram concentrações normais de Ca ionizado plasmático no parto, definida por concentrações ≥ 4 mg/dL, o que corrobora com os dados de Horst *et al.* (1997). Além disso, mostrou que as vacas que receberam DCAD de -150mEq/KgMS e 1,50%Ca na MS não tiveram hipocalcemia, enquanto que as vacas com DCAD neutro ou positivo e recebendo níveis inferiores de Ca na dieta apresentaram hipocalcemia. Este trabalho também averiguou que os níveis de Ca plasmático no pré e pós-parto foram aumentados conforme redução do DCAD, mas que não foi possível notar se houve maior absorção intestinal, pois, os níveis de Ca também foram alterados nos tratamentos, o que poderia ter afetado os resultados (MOORE *et al.*, 2000). Nesses estudos fica evidenciado que a utilização de DCAD negativo e fornecimento de maiores níveis de Ca na dieta previnem a hipocalcemia no parto, o que está de acordo com observado por Oetzel *et al.* (1988), que também averiguou que dietas acidogênicas com maiores inclusões de Ca, são mais eficazes no combate à hipocalcemia.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da importância das doenças no período de transição, e em especial a hipocalcemia, por ter alta incidência nos rebanhos mundiais e se tratar de uma doença porta de entrada para as demais, faz-se necessário a busca por manejos para contornar este problema.

Nesta revisão foi discutida a utilização de dietas pré-parto com DCAD negativo, níveis ajustados de magnésio e altas inclusões de cálcio, e, conforme demonstrado, existe a possibilidade de que sua utilização seja benéfica para o combate da hipocalcemia clínica e subclínica. Portanto, infere-se que mais estudos são necessários sobre a utilização de

dietas pré-parto com DCAD negativo efetivo, associados à mensurações de pH de urina da vaca, níveis de Mg em torno de 0,35 - 0,40% na MS, e níveis de cálcio de 1,50% a 2,02%Ca na MS, para termos maior entendimento das concentrações ideais de cálcio em dietas de transição, visando o combate da hipocalcemia.

■ REFERÊNCIAS

1. ANUÁRIO do leite Embrapa. **Saúde única e total**, [S. l.], p. 1-104, 11 jan. 2021. AMUNDSON, L. A. *et al.* Effect of induced hypocalcemia in nonlactating, nonpregnant Holstein cows fed negative DCAD with low, medium, or high concentrations of calcium. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 96, n. 12, p. 5010–5023, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1093/jas/sky371>
2. CHAN, P. S.; WEST, J. W.; BERNARD, J. K. Effect of prepartum dietary calcium on intake and serum and urinary mineral concentrations of cows. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 89, n. 2, p. 704–713, 2006. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72133-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72133-6)
3. CHARBONNEAU, E.; PELLERIN, D.; OETZEL, G. R. Impact of lowering dietary cation-anion difference in nonlactating dairy cows: A meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 89, n. 2, p. 537–548, 2006. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72116-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72116-6)
4. CONSTABLE, P. D. Clinical assessment of acid-base status. Strong ion difference theory. **The Veterinary clinics of North America. Food animal practice**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 447–471, 1999. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30158-4](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30158-4)
5. CORBELLINI, C. N. Etiopatogenia e controle da hipocalcemia e hipomagnesemia em vacas leiteiras. **Seminário Internacional Sobre Deficiências Minerais em Ruminantes. Editora da UFRG, Porto Alegre**, [s. l.], p. 1–17, 1998.
6. CORREA, L. B. *et al.* Resposta em parâmetros sanguíneos e urinários de vacas leiteiras ao aumento no balanço cátion-aniônico da dieta. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, [s. l.], v. 61, n. 3, p. 655–661, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1590/s0102-09352009000300019>
7. DEGARIS, P. J.; LEAN, I. J. Milk fever in dairy cows: A review of pathophysiology and control principles. **Veterinary Journal**, [s. l.], v. 176, n. 1, p. 58–69, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.029>
8. DUCUSIN, R. J. T. *et al.* Effects of extracellular Ca²⁺ on phagocytosis and intracellular Ca²⁺ concentrations in polymorphonuclear leukocytes of postpartum dairy cows. **Research in Veterinary Science**, [s. l.], v. 75, n. 1, p. 27–32, 2003. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(03\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(03)00038-9)
9. ENDER, F.; DISHINGTON, I. W.; HELGEBOSTAD, A. Calcium Balance Studies in Dairy Cows under Experimental Induction and Prevention of Hypocalcaemic Paresis Puerperalis. **Zeitschrift für Tierphysiologie Tierernährung und Futtermittelkunde**, [s. l.], v. 28, n. 1–5, p. 233–256, 1971. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1971.tb01573.x>
10. ERDMAN, R.; IWANIUK, M. DCAD : It ' s Not Just for Dry Cows. **Tri-State Dairy Nutrition Conference**, [s. l.], n. 301, p. 100–110, 2017.

11. FABRIS, L. H.; MARCHIORO, J.; RAMELLA, K. D. C. L. Aspectos epidemiológicos, clínicos, patológicos, diagnóstico, profilaxia e tratamento da hipocalcemia em bovinos: Revisão. **Pubvet**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 1–10, 2021. Available at: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n02a758.1-10>
12. FEIJÓ, J. O. **Desenvolvimento de uma estratégia farmacêutica para prevenção de hipocalcemia em vacas leiteiras**. 2016. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016. f. 78.
13. FERNANDES, João Vitor. **Hipocalcemia em vacas: O que é, quais são sintomas e como tratar**. Belo Horizonte, 26 fev. 2021. Disponível em: <https://prodap.com.br/pt/blog/sintomas-da-hipocalcemia>. Acesso em: 8 jun.2021.
14. GOFF, J. P. Pathophysiology of calcium and phosphorus disorders. **The Veterinary clinics of North America. Food animal practice**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 319–337, 2000. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30108-0](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30108-0) GOFF, J. P.; LIESEGANG, A.; HORST, R. L. Diet-induced pseudohypoparathyroidism: A hypocalcemia and milk fever risk factor. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 97, n. 3, p. 1520–1528, 2014. Available at: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7467>
15. GOFF, Jesse P. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerationsto improve mineral status. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 101, n. 4, p. 2763– 2813, 2018. Available at: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13112>
16. GOFF, Jesse P. The monitoring, prevention, and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows. **Veterinary Journal**, [s. l.], v. 176, n. 1, p. 50–57, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.020>
17. GOINGS, R. L. *et al.* Prevention of Parturient Paresis by a Prepartum, Calcium- Deficient Diet. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 57, n. 10, p. 1184–1188, 1974. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(74\)85034-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)85034-4)
18. HORST, R. L. *et al.* Strategies for Preventing Milk Fever in Dairy Cattle. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 80, n. 7, p. 1269–1280, 1997. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76056-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76056-9)
19. HORST, R. L.; JORGENSEN, N. A. Elevated Plasma Cortisol during Induced and Spontaneous Hypocalcemia in Ruminants. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 65, n. 12, p. 2332–2337, 1982. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82505-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82505-8)
20. JORGENSEN, R. J. *et al.* Rumen Motility During Induced Hyper- and Hypocalcaemia. **Acta Veterinaria Scandinavica**, [s. l.], v. 39, n. 3, p. 331–338, 1998. Available at: <https://doi.org/10.1186/BF03547781>
21. KIMURA, K.; REINHARDT, T. A.; GOFF, J. P. Parturition and hypocalcemia blunts calcium signals in immune cells of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 89, n. 7, p. 2588–2595, 2006. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72335-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72335-9)
22. LEAN, I. J. *et al.* Hypocalcemia in dairy cows: Meta-analysis and dietary cation anion difference theory revisited. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 89, n. 2, p.669–684, 2006. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72130-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72130-0)
23. LEAN, Ian John. **Transition Cow Management A review for nutritional professionals**. [S. l.: s. n.], 2015.

24. LEÃO, Guilherme Fernando Mattos. **Suplementação de metionina protegida ruminalmente para vacas leiteiras no período de transição**. 2019. 100 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal do Paraná, [S. l.], 2019.
25. LEBLANC, S. J. *et al.* Major advances in disease prevention in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 89, n. 4, p. 1267–1279, 2006. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72195-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72195-6)
26. LEBLANC, S. J.; LESLIE, K. E.; DUFFIELD, T. F. Metabolic Predictors of Displaced Abomasum in Dairy Cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 1, p. 159–170, 2005. Elsevier. Disponível em: <<https://www.journalofdairyscience.org/action/showPdf?pii=S0022-0302%2805%2972674-6>>.
27. LENO, B. M. *et al.* Effects of prepartum dietary cation-anion difference on aspects of peripartum mineral and energy metabolism and performance of multiparous Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 100, n. 6, p. 4604–4622, 2017. Available at: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12221>
28. LIESEGANG, Annette; SINGER, Karin; BOOS, Alois. **Vitamin D receptor amounts across different segments of the gastrointestinal tract in Brown Swiss and Holstein Frisian cows of different age**, Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich., jun. 2008.
29. MARCONDES, M. I. *et al.* **Nutrição e manejo de vacas de leite no período de transição**. Viçosa: UFV, 2019.
30. MARTINEZ, N. *et al.* Evaluation of periparturient calcium status, energetic profile, and neutrophil function in dairy cows at low or high risk of developing uterine disease. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 95, n. 12, p. 7158–7172, 2012. Available at: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5812>
31. MCLAREN, C. J. *et al.* The relationship between herd level disease incidence and a return over feed index in Ontario dairy herds. **Canadian Veterinary Journal**, [s. l.], v. 47, n. 8, p. 767–773, 2006.
32. MELO, Camila Martins de. **Efeitos da suplementação da colina protegida ruminalmente em vacas leiteiras no período de transição**. 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
33. MOORE, S. J. *et al.* Effects of altering dietary cation-anion difference on calcium and energy metabolism in periparturient cows 1. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 83, n. 9, p. 2095–2104, 2000. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75091-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75091-0)
34. NEGRO, Giancarlo. **Efeito da suplementação de buta-fosfina mais cianocobalamina e de formiato de cálcio via oral em vacas leiteiras no pós-parto**. 2019. 62 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
35. OETZEL, G. R. *et al.* Ammonium Chloride and Ammonium Sulfate for Prevention of Parturient Paresis in Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 71, n. 12, p. 3302–3309, 1988. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79935-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79935-X)
36. OETZEL, Garrett R. Meta-Analysis of Nutritional Risk Factors for Milk Fever in Dairy Cattle. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 74, n. 11, p. 3900–3912, 1991. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78583-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78583-4)

37. RODRÍGUEZ, E. M. *et al.* Is calcitonin an active hormone in the onset and prevention of hypocalcemia in dairy cattle? **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 99, n. 4, p. 3023–3030, 2016. Available at: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10229>
38. RYAN, K. T. *et al.* Increased dietary calcium inclusion in fully acidified prepartum diets improved postpartum uterine health and fertility when fed to Holstein cows. **Theriogenology**, [s. l.], v. 142, n. October 2019, p. 338–347, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.10.014>
39. SCHRÖDER, Bernd; BREVES, Gerhard. **Mechanisms and regulation of calcium absorption from the gastrointestinal tract in pigs and ruminants: comparative aspects with special emphasis on hypocalcemia in dairy cows**, Department of Physiology, School of Veterinary Medicine, Bischofsholer Damm 15, 30173 Hannover, Germany, 12 maio 2006.
40. STURM, Noel. **Homeostase do cálcio / PTH / Vitamina D**. California, 2019. Disponível em: http://www2.csudh.edu/nsturm/CHE452/20_Calcium%20Homeostasis16.htm. Acesso em: 7 set. 2021.
41. THILSING-HANSEN, T.; JØRGENSEN, R. J.; ØSTERGAARD, S. Milk fever control principles: A review. **Acta Veterinaria Scandinavica**, [s. l.], v. 43, n. 1, p.1–19, 2002. Available at: <https://doi.org/10.1186/1751-0147-43-1>
42. VENJAKOB, P. L.; BORCHARDT, S.; HEUWIESER, W. Hypocalcemia—Cow-level prevalence and preventive strategies in German dairy herds. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 100, n. 11, p. 9258–9266, 2017. Available at: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12494>
43. VERDARIS, J. N.; EVANS, J. L. Diet Calcium and pH Versus Mineral Balance in Holstein Cows 84 Days Pre- to 2 Days Postpartum. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 59, n. 7, p. 1271–1277, 1976. Available at: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(76\)84355-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(76)84355-X)

Ponto de saciedade em peixes: avaliação do frenesi utilizando processamento digital de sinais

| **Augusto de Caldas Ayres Estácio**
FZEA/USP

| **Fabio Rosa Sussel**

| **Ernane José Xavier Costa**
FZEA/USP

| **Aldo Ivan Céspedes Arce**
FZEA/USP

| **Ana Carolina de Sousa Silva**
FZEA/USP

RESUMO

A piscicultura é um dos setores produtivos que mais tem se destacado nas últimas décadas, tal crescimento demanda por novas tecnologia para monitorar a produção e auxiliar nas tomadas de decisões. O manejo alimentar é um dos grandes desafios da produção intensiva, podendo representar uma parcela significativa dos custos de operação da produção. Esse trabalho inicia um estudo sobre o frenesi alimentar e suas características espectrais. Foram utilizadas ferramentas de processamento digital de sinais para avaliar o comportamento alimentar até alcançar o ponto de saciedade aparente. Também foram avaliados eventos de possíveis interferências no sinal de modo a identificar como as frequências que caracterizam as informações do frenesi se diferenciam.

Palavras-chave: Frenesi Alimentar, Zootecnia de Precisão, Análise de Fourier, Bem-Estar.

■ INTRODUÇÃO

A preocupação com a produção sustentável e com seus impactos nos ecossistemas nunca se mostrou tão importante quanto nas últimas décadas. Segundo a Fao (2020) em 2018 a produção global de peixes atingiu 179 milhões de toneladas das quais 156 milhões de toneladas foram destinadas ao consumo humano, estimando o consumo per capita de 20,5 kg (FAO, 2020).

A pesca e captura tem sido substituída pela produção em cativeiro, um meio mais sustentável de produzir proteína de origem animal, além de aproximar a origem do produto ao mercado consumidor. Segundo o relatório SOFIA (“The World State of Fisheries and Aquaculture”) essa busca pela sustentabilidade tem alavancado a produção e, em 2018 mais de 50% da proteína aquática para consumo humano foi produzida pela aquicultura. No entanto a produção intensiva possui muitos desafios que podem comprometer o ritmo do crescimento do setor (FAO, 2018).

De acordo com o anuário da Peixe BR (2019), em 2018 o Brasil teve um aumento de 4,5% na produção de peixes cultivados com relação ao ano anterior, porém esperavam-se resultados melhores se não houvesse obstáculos como crises políticas e econômicas e eventos climáticos atípicos. Mesmo assim observando somente a produção de Tilápia do Brasil, houve aumento de aproximadamente 12 %. O Brasil produz cerca de 400 mil toneladas de Tilápia por ano. Esse valor corresponde a mais de 55 % da produção nacional de peixes em cativeiro e atualmente o Brasil é o quarto maior produtor mundial da espécie, contribuindo com 6,67 % na oferta global.

O manejo nutricional é um dos principais desafios do piscicultor, pois os erros são comuns e podem elevar a mortalidade, também causar grandes prejuízos econômicos. Os custos envolvidos com a alimentação na piscicultura podem representar até 70% do custo operacional da produção (SABBAG, 2007). Assim é sempre indicada a observação constante do comportamento dos animais durante o manejo alimentar. O frenesi alimentar é uma grande fonte de informações sobre o estado do apetite dos animais, da saúde e também das condições de qualidade da água (SUSSEL, 2008).

Segundo Siqueira (2012), para que a produção intensiva de peixes em cativeiro continue crescendo deve se incorporar à produção novas técnicas e tecnologias para superar os obstáculos. Assim o uso de ferramentas matemáticas e de engenharia aplicada ganham espaço em trabalhos relacionados a estudo do comportamento de animais aquáticos. King *et al.* (2016) caracterizou a sinalização sonora de golfinhos utilizando uma técnica de processamento de sinais no domínio da frequência conhecida como, Transformada Rápida de Fourier (FFT). Matias (2011), fez uso da mesma ferramenta matemática para obter a

assinatura individualizada na comunicação de peixes elétricos, observando os pulsos de descargas elétricas no tempo e frequência.

O frenesi alimentar é um comportamento de liberação de grande quantidade de energia em forma de movimento em curto espaço de tempo, pode ser entendido como um estado exaltado do comportamento de busca pelo alimento. Este comportamento está relacionado diretamente com a fome – saciedade dos animais. Desse modo monitorar esse comportamento permite a identificação do momento em que se deve fornecer mais alimento ou cessar o fornecimento, portanto pode auxiliar no processo de tomada de decisão quanto ao manejo alimentar (ESTÁCIO, 2017).

O frenesi possui grande potencial para orientar as tomadas de decisões na piscicultura não apenas quanto ao manejo alimentar mas também como um indicador de bem estar dos animais, conforme descrito por Kubitzka e seus colaboradores (2000) a grande maioria dos fatores de estresse que atingem os animais tem como primeiros sintomas a falta de apetite. Assim ao se estabelecer o padrão de consumo dos animais, o desvio de comportamento pode indicar que algumas das variáveis de importância quanto a qualidade da água (Nível de amônia dissolvida na água, oxigenação, pH, temperatura) estão fora da faixa ideal, ou até mesmo que pode estar ocorrendo algum problema de sanidade no plantel.

No presente trabalho buscou-se compreender melhor o frenesi alimentar de peixes, de forma a investigar a relação entre o sinal sonoro produzido pelo frenesi e o apetite e o conteúdo em frequência do sinal observado.

■ MATERIAIS E MÉTODOS

Este experimento foi realizado na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo na cidade de Pirassununga (FZEA/USP). Tendo sido aprovado pelo comitê de ética desta unidade em 27/03/2017 sob o protocolo N° 7507200317.

Condições experimentais

O experimento foi conduzido nas dependências do Laboratório de Física Aplicada e Computacional (LAFAC), onde foi instalado um tanque de cultivo com capacidade para 500 litros, munido de bomba para recirculação de água e sistema de filtragem com aeração.

O tanque foi povoado com 20 juvenis de tilápia com peso médio de 45 g, sendo alimentados diariamente pela manhã (8 h) e à tarde (16 h), conforme sugerido por Silva e Pezzato (1999). Utilizou-se ração comercial com 36% de proteína bruta, sendo fornecido até o ponto de saciedade aparente. Esse ponto foi considerado atingido quando os animais

cessaram a subida a superfície em busca de alimento, conforme proposto no trabalho de Ono *et al.* (2008).

Nos horários definidos, a ração era ofertada de forma fracionada, observando sempre o comportamento de resposta ao estímulo. Cada porção oferecida continha 5g e as porções foram lançadas uma após outra assim que se observasse o consumo completo, até atingir o ponto de saciedade aparente. Ao atingir a saciedade, o excedente da ração era retirado para preservar a qualidade da água.

Aquisição e análise de dados

Para gravação do sinal sonoro do frenesi foi utilizado um microfone de eletreto (Waterproof POW-1644L-LWC50-B-R), com reposta em frequência de 50-16.000 Hz e sensibilidade de -44 dB, devidamente encapsulado, para isolamento de seus contatos elétricos. Os sinais foram coletados com auxílio do programa Audacity® e os arquivos foram exportados para o MATLAB®, onde foi aplicada a Transformada rápida de Fourier para as observações (FFT). A variação da frequência no tempo foi observada por meio do espectrograma (FFT com 256 pontos e 50% de sobreposição da janela de Hamming).

A gravação dos sinais se iniciava 10s antes do lançamento de cada porção e se estendia por mais 1 minuto, porém para análise foram utilizados apenas os primeiros 30 segundos de sinais

Figura 1. Sobreposição dos espectros referentes às cinco porções oferecidas no período da tarde: porção 1 (azul), porção 2 (verde), porção 3 (vermelho), porção 4 (verde claro) e porção 5 (rosa).

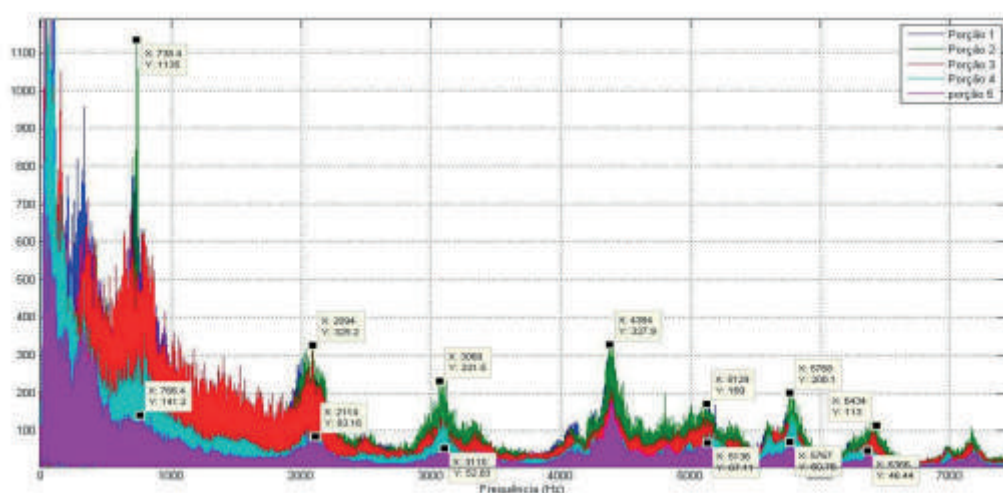


Figura 2. Espectrograma da primeira porção do período da tarde.

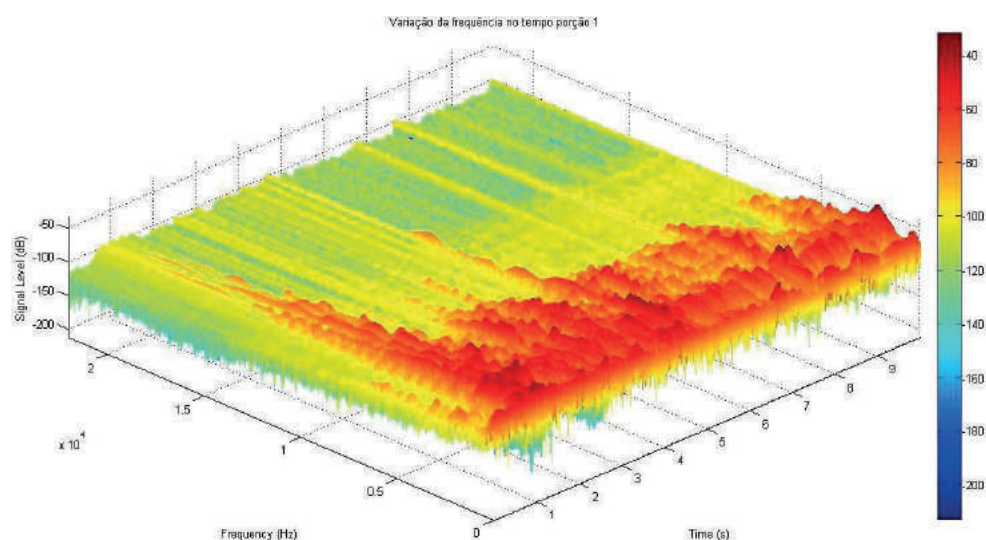
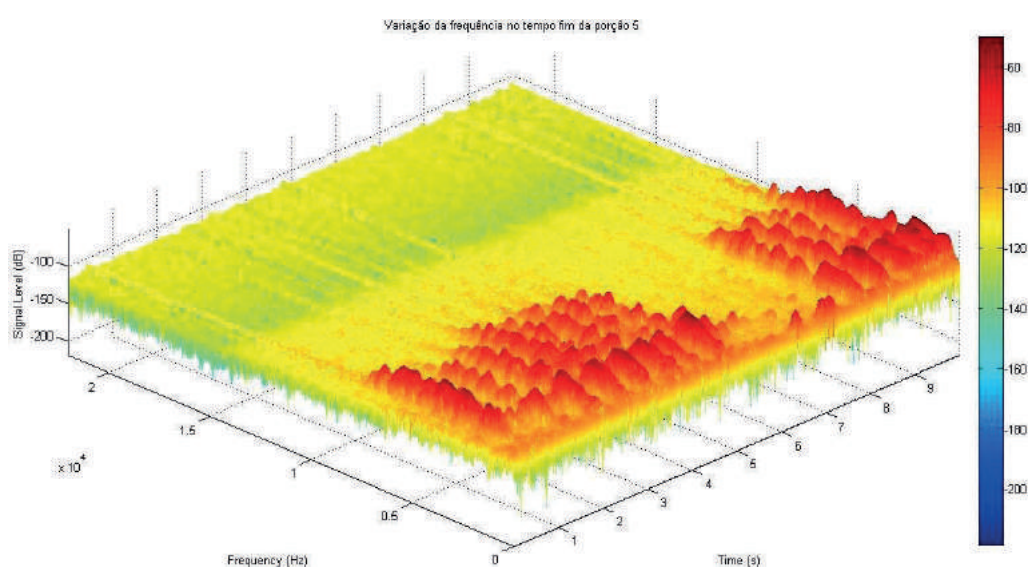
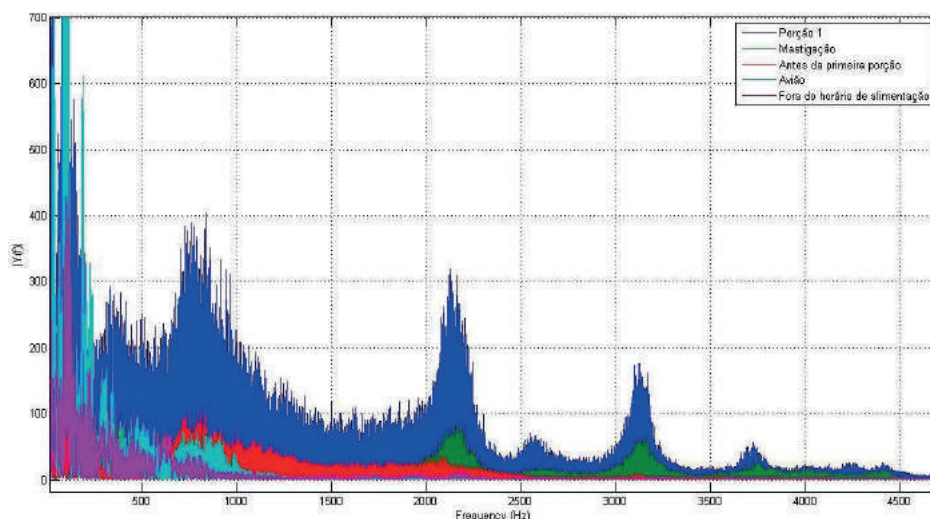


Figura 3. Espectrograma da quinta porção do período da tarde.



Durante a oferta sequencial das porções foi possível observar a atenuação do comportamento à medida que os animais se aproximavam da saciedade, essa tendência também foi observada na análise espectral evidenciada na figura 1, o mesmo pode ser observados nos espectrogramas das figuras 2 e 3. É possível notar como a intensidade e a ocorrência das assinaturas espectrais se atenuam e se espaçam com o tempo a medida que em os animais se aproximavam da saciedade.

Figura 4. Sobreposição das FFTs dos eventos, dispersão da primeira porção (azul), mastigação (verde), momentos antes da primeira porção (vermelho), avião (verde claro) e momento fora do horário do regime alimentar (rosa).



Observar cada componente separadamente foi de grande importância para compreender o sinal do frenesi. Partindo da observação do evento mais simples, a movimentação natural dos animais sem estímulos, com o mínimo de interferências externas (indicado na Figura - 4 na cor rosa). Os animais se localizavam de forma aleatória no tanque e fora do horário rotineiro da alimentação, demonstrando o comportamento natural de natação. Conforme pode se verificar, os picos de frequências que se destacam estão todos abaixo de 200 Hz, assim esses picos foram associados o som de natação e do ambiente experimental.

Embora a passagem do tráfego aéreo fosse intensa na cidade de Pirassununga, verificou se no espectro de frequências do sinal que seu conteúdo em frequências não foi um fator que comprometeu a interpretação do comportamento, pois possui características bem distintas sendo mais significativa apenas abaixo dos 100 Hz (Figura 4).

Ao introduzir o estímulo na eminência de receber a ração, os animais iniciaram movimentação mais intensa na superfície já procurando pelo alimento, pode se observar no espectro (indicado na Figura -4 na cor vermelha) que há picos que se destacam nas regiões de 830 Hz e um pouco mais suave na região de 2,1 KHz, também é possível observar as características já associadas ao ambiente na região de 200 Hz.

O espectro correspondente ao frenesi da primeira porção de ração oferecida apresentou uma sequência de picos distinta dos eventos já observados (indicado na figura -4 na cor azul), analisando o comportamento após o consumo completo da porção pode se perceber que partes das frequências apresentadas compõem o movimento mandibular de mastigação do alimento (indicado na cor verde na figura 4).

■ CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas pode-se afirmar que o frenesi alimentar dos peixes no momento do arraçoamento gera um sinal sonoro que possui potencial para ser usado como descritor do estado de apetite dos animais. Foi possível iniciar a caracterização do sinal e observar uma assinatura de frequência correspondente ao comportamento e observar seu comportamento no tempo.

■ AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa Alevinos Moraes® pelo apoio a pesquisa doando os animais utilizado para a realização desse estudo.

■ CONTRIBUIÇÕES DO AUTOR

1. **Conceptualization:** Silva, A.C.S, Estácio, R.A.A, Costa, E.J.X.. **Data acquisition:** Estácio, R.A.A, Sussel, F.R. **Data analysis:** Silva, A.C.S, Estácio, R.A.A. **Design of Methodology:** Silva, A.C.S, Costa, E.J.X; Estácio, R.A.A. **Software development:** Estácio, R.A.A., Arce, A.I.C. **Writing – original draft:** Silva, A.C.S., Estácio, R.A.A. **Writing -review & editing:** Silva, A.C.S., Estácio, R.A.A., Sussel, F.R. **Funding acquisition:** Silva, A.C.S., Estácio, R.A.A., Sussel, F.R. **Project administration:** Silva, A.C.S.

■ REFERÊNCIA

2. ESTÁCIO, R. A. DE C. A. Avaliação da resposta alimentar em peixes utilizando processamento digital de sinais para a determinação do ponto de saciedade. 2017.
3. FAO. **The World State of Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals**. [s.l: s.n.]. v. 3
4. FAO. **El Estado de la pesca y la acuicultura mundial, SOFIA 2020**. [s.l: s.n.].
5. KING, S. L. et al. Maternal signature whistle use aids mother-calf reunions in a bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. **Behavioural Processes**, v. 126, p. 64–70, 2016.
6. KUBITZA, L. M. M.; GUIMARÃES, T. G.; KUBITZA, F. Monitorando a saúde nos peixes. **Panorama da aquicultura**, p. 33–39, 2000.
7. MATIAS, P. Novo método para assinatura e identificação de sinais de eletrocomunicação de peixes elétricos de campo fraco da espécie *Gymnotus carapo*. 2011.
8. ONO, E. A. et al. Digestibilidade aparente de dietas práticas com diferentes relações energia : proteína em juvenis de pirarucu. n. 1, p. 249–254, [s.d.].
9. PEIXEBR. Anunário PeixeBr da Piscicultura. **Associação Brasileira de Piscicultura**, p. 138, 2019.

10. SABBAG, O. J. Análise econômica da produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em um modelo de propriedade associativista em Ilha Solteira / SP . p. 86–100, 2007.
11. SILVA, E. M. .; PEZZATO, L. E. Comportamento alimentar da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) frente a diferentes ingredientes alimentares. v. 21, n. 2, p. 297–301, 1999.
12. SIQUEIRA, T. V. DE. Aquicultura : a Nova Fronteira Para Aumentar a Produção Mundial De. p. 119–170, 2012.
13. SUSSEL, F. R. Alimentação Na Criação De Peixes Em Tanques-Rede. **Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios**, v. 1981, p. 14p, 2008.

Sistema Automatizado de Baixo Custo para Produtores Rurais: controle e monitoramento do ambiente térmico na suinocultura

| **Pedro Hurtado de Mendoza Borges**
UFMT

| **Zaíra Moraes dos Santos Hurtado de Mendoza**
UFMT

| **Pedro Hurtado de Mendoza Moraes**
UFMT

| **Ronei Lopes dos Santos**
UFMT

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema automatizado de baixo custo para monitorar e controlar o ambiente térmico de instalações suinícolas. Por meio de sensores conectados a um microcontrolador Arduino foi possível acionar ventiladores e/ou nebulizadores para manter valores adequados de temperatura e umidade relativa do ar, em função das exigências do animal. Esses valores foram estabelecidos com base na entalpia no interior do galpão, recomendada pelas referências bibliográficas consultadas. Para o correto funcionamento do sistema foram elaborados o fluxograma e a correspondente implementação do programa computacional na linguagem C, utilizando-se o ambiente de desenvolvimento do próprio microcontrolador. Durante os testes realizados, o sistema acionou os equipamentos e armazenou os dados conforme previsto, evidenciando bom desempenho. Concluiu-se que, o sistema proposto reduziu o consumo de água e energia, comprovando a sua eficiência. Esta pesquisa servirá como uma ferramenta útil e viável para os suinicultores contribuindo com a redução de custos e com a sustentabilidade de seus empreendimentos.

Palavras-chave: Agricultura Familiar, Arduino, Conforto Animal, Pecuária, Sustentabilidade.

■ INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se mundialmente como produtor e exportador de carne suína, ocupando a quarta posição. No cenário nacional, o estado de Mato Grosso é responsável por 5,61% da produção e 5,85% da exportação, o que corresponde ao quinto e quarto lugar respectivamente (EMBRAPA, 2017). Sem dúvida, esses índices poderiam ser superiores com a adoção de medidas para melhorar o ambiente nas instalações suinícolas, associadas ao uso de tecnologias avançadas. Inúmeros estudos têm evidenciado a influência do microclima das referidas instalações sobre o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais (SAMPAIO *et al.*, 2004; CAMPOS *et al.*, 2008; PANDORFI *et al.*, 2008; KIEFER *et al.*, 2009; KIEFER *et al.*, 2010; VIEIRA *et al.*, 2010; SALES *et al.*, 2011; NAZARENO *et al.*, 2012; COUTINHO *et al.*, 2014).

Dentre as variáveis que influenciam o ambiente térmico de instalações zootécnicas, a temperatura e umidade relativa do ar possuem especial relevância. Há algum tempo, pesquisas nessa área já vem sendo desenvolvidas com o intuito de relatar o uso de coeficientes para mensurar o efeito simultâneo dessas variáveis, como por exemplo, o índice de temperatura e umidade (ITU) desenvolvido por Thom (1958), o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) proposto por Buffington *et al.*, (1981), a carga térmica de radiação (CTR) sugerida por Esmay (1982) e a entalpia (H) definida por Albright (1990). Esses índices possibilitam caracterizar com maior precisão o ambiente térmico, de acordo com faixas de valores previamente estabelecidas.

Outra necessidade premente é que atualmente, existe uma crescente tendência da sociedade brasileira e dos mercados importadores em requerer padrões mínimos de bem-estar animal nas cadeias produtivas. Para atender essa exigência, novos métodos e tecnologias nas granjas suinícolas deverão ser desenvolvidos e adotados para melhorar o alojamento de matrizes, incluindo a automação dos sistemas em todas as fases da produção.

Entretanto, dados da Companhia Nacional de Abastecimento revelam que, até o ano de 2017, mais de 80% dos estabelecimentos agropecuários baseiam-se na agricultura familiar, sendo esta atividade uma importante fonte de alimentos de qualidade para o mercado interno (CONAB, 2017). Porém, a maioria dos produtores rurais não possuem recursos financeiros suficientes para adotar tecnologias avançadas de elevado custo, devendo as pesquisas se preocuparem com isso, levando até eles informações úteis e economicamente viáveis.

A suinocultura é de extrema importância para a agricultura familiar, por que utiliza mão de obra doméstica, além de requerer pouca extensão de terra e proporcionar um adequado retorno financeiro. Com poucos recursos, os pequenos produtores rurais encontram a sustentabilidade para as suas propriedades na diversificação da produção (suinocultura, grãos, bacia leiteira e agroindústria). A suinocultura viabiliza a bacia leiteira, devido ao uso

dos dejetos dessa produção como adubação para as pastagens, e também a produção de grãos (EMBRAPA, 2017).

Na tentativa de levar tecnologia de informação ao homem do campo, de forma crescente e cada vez mais acessível, o advento das plataformas de prototipagem eletrônica de baixo custo com o nome comercial de Arduíno, tem possibilitado a automação de diversos processos e sistemas no setor agropecuário. Essas plataformas possuem projeto e código livre e foram desenvolvidas na Itália utilizando microcontroladores da Atmel (McROBERTS, 2011; PENIDO, 2017). O uso dessa tecnologia pode ser constatado na coleta de dados para estação meteorológica, no monitoramento da irrigação de culturas agrícolas, no controle de tanque de calda para hidroponia, bem como em outras aplicações industriais e residenciais (KOLCENTI *et al.*, 2014; CUNHA; ROCHA, 2015; OKABE *et al.*, 2015; REIS *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2016; MELO *et al.*, 2016; PENIDO, 2017).

De acordo com os trabalhos consultados acima, infere-se que as referidas plataformas podem ser uma poderosa e viável ferramenta de baixo custo para o controle e monitoramento do ambiente térmico em instalações suínas. Além disso, essas plataformas podem estimar e manter os índices de conforto em faixas adequadas de acordo com a fase de crescimento do animal, o que requer a programação minuciosa de algoritmos previamente definidos. Esta problemática motivou a elaboração do presente estudo, que teve como principal objetivo desenvolver um sistema automatizado para controlar e monitorar o ambiente térmico de uma instalação suinícola, em função da entalpia. Assim, por meio desse índice, o sistema permitirá avaliar o efeito simultâneo da temperatura e umidade relativa do ar no interior do galpão.

■ MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Informática da Faculdade de Agronomia e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso, onde foram realizados os pré-testes. Em seguida, o sistema foi levado para o campo e instalado no galpão de reprodução, pertencente ao setor de suínos da Fazenda Experimental dessa instituição. No Quadro 1, apresentam-se os principais componentes do sistema e equipamentos, bem como o correspondente orçamento e custo aproximado da mão de obra.

Quadro 1. Orçamento dos principais componentes do sistema e equipamentos.

Itens	Descrição	Quantidade	Custo (R\$)
Componentes do sistema	Microcontrolador Arduino	1	80,00
	Placa para circuitos	1	40,00
	Módulo RTC DS3231	1	25,00
	Módulo SD para cartão de memória	1	30,00
	Sensor de temperatura e umidade DHT22	1	25,00
	Relé de dois canais	1	45,00
	Fonte de 6 Volts	1	60,00
	Fios para conexão dos componentes	14	5,00
	Subtotal com o custo dos componentes do sistema		310,00
Equipamentos e acessórios	Ventilador	1	1.100,00
	Nebulizador	1	2.500,00
	Fios elétricos	50 m	30,00
	Subtotal com o custo dos equipamentos e acessórios		3.630,00
Mão de obra	Eletricista	1	170,00
	Ajudante de eletricista	1	90,00
	Subtotal com o custo da mão de obra		260,00
TOTAL			4.200,00

Fonte: Elaborado pelos Autores.

A montagem do sistema iniciou-se com a energização do microcontrolador, do sensor, dos módulos e do relé. Por meio de fios, o segundo pino do sensor foi ligado a uma entrada analógica do microcontrolador para realização da coleta de dados referentes a temperatura e umidade. Os módulos RTC DS3231 e do cartão de memória foram instalados no sistema, conforme o esquema elétrico fornecido pelo fabricante, levando-se em consideração os pinos analógicos e digitais do microcontrolador para a adequada e segura comunicação entre os componentes. Os fios de fase para a tensão de 110 V do ventilador e do nebulizador foram ligados à rede elétrica, enquanto que os respectivos fios neutros conectados às saídas de cada canal do relé.

O sistema proposto acionava o ventilador e o nebulizador de forma independente, ou simultaneamente, de acordo com as necessidades de temperatura e umidade, visando manter o conforto ambiental na instalação. Neste trabalho, utilizou-se a entalpia definida por Albright (1990) para avaliar o ambiente térmico no galpão, conforme a equação:

$$H = 6,7 + 0,243 \cdot TBS + \frac{UR}{100} \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot TBS}{237,3 + TBS}}$$

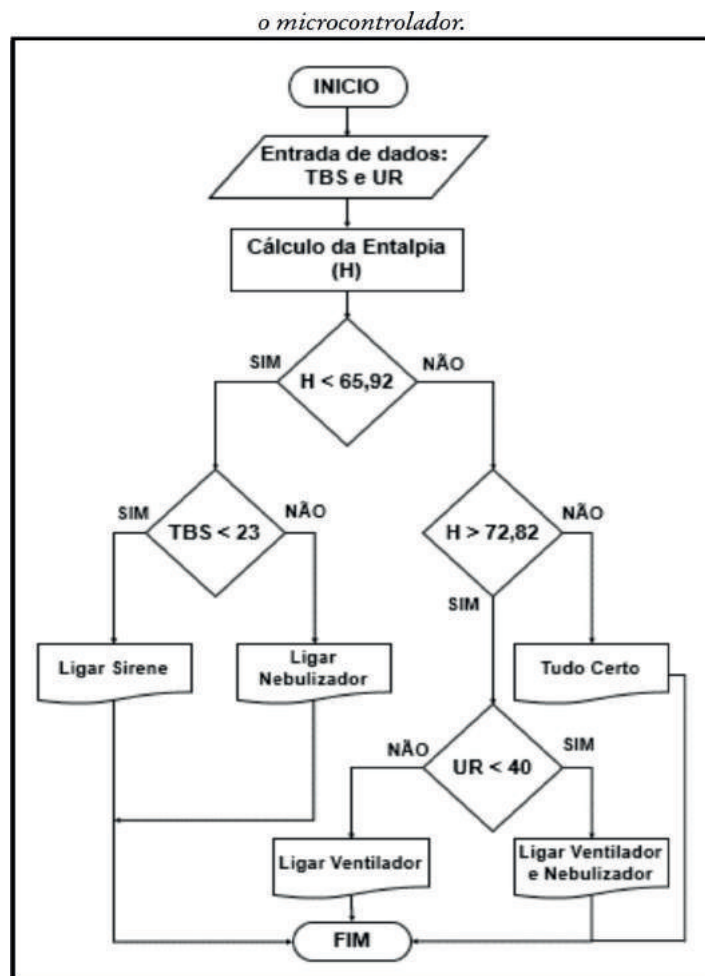
Em que,

- H: Entalpia (kcal kg^{-1} de ar seco);
- UR: Umidade relativa do ar (%);
- TBS: Temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$).

Tendo como referência diversos estudos, a temperatura ideal para suínos foi sugerida como sendo em torno de 25 a 28 $^{\circ}\text{C}$ com a umidade variando entre 40 e 80%, resultando num intervalo de entalpia adequada para o conforto ambiental de 65,92 até 72,82 KJ kg^{-1} de ar seco (SAMPAIO *et al.*, 2004; CAMPOS *et al.*, 2008; PANDORFI *et al.*, 2008; KIEFER *et al.*, 2009; KIEFER *et al.*, 2010; VIEIRA *et al.*, 2010; SALES *et al.*, 2011; NAZARENO *et al.*, 2012; COUTINHO *et al.*, 2014).

Fora dessa faixa, o ambiente torna-se muito frio e seco, ou quente e úmido demais, sendo prejudicial em ambos os casos para o desempenho reprodutivo das matrizes, e produtivo para os animais na fase de terminação. Para garantir esses valores de entalpia, foi implementado no Ambiente de Desenvolvimento Integrado do microcontrolador Arduíno um programa computacional na linguagem C, conforme o fluxograma representado na Figura 1.

Figura 1. Fluxograma do programa computacional desenvolvido para o microcontrolador.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

O microcontrolador foi responsável pelo envio e armazenamento dos dados no cartão de memória, visando posterior análise técnica econômica. Esses dados serão utilizados em outros estudos e são de extrema importância para o aperfeiçoamento, tanto do sistema automatizado desenvolvido, quanto das próprias instalações suinícolas. Ressalta-se que o caso mais crítico ocorrerá quando a entalpia for inferior a 65,92 KJ kg⁻¹ e a temperatura menor que 23 °C, caracterizando-se o ambiente como frio e úmido, nessa situação, o acionamento dos equipamentos não resolveria o problema, agravando inclusive, a situação de estresse térmico.

Contudo, essas condições não são frequentes no Estado de Mato Grosso por longos períodos durante o ano, mesmo assim, os suinicultores poderão disponibilizar cortinas nas laterais dos galpões, com o intuito de proteger os animais de prováveis quedas de temperaturas.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema automatizado de baixo custo composto por uma plataforma Arduino (microcontrolador), sensores, relés, atuadores (ventilador e nebulizador), módulo de relógio e módulo de cartão de memória SD foi desenvolvido e programado para realizar as leituras a cada 10 segundos, sendo armazenadas de forma rápida e precisa. Com o propósito de reduzir o número de informações no cartão SD, optou-se por enviar para o arquivo-texto, apenas a média de 60 medições correspondentes ao intervalo de tempo de 10 minutos, totalizando 144 registros diários. Essa alternativa teve como finalidade elevar a precisão dos resultados e utilizar valores mais representativos.

Figura 2. Ilustração do arquivo de texto gerado pelo sistema automatizado.

Leitura	Data	Hora	Temperatura(°C)	Umidade(%)	Entalpia(kJ/kg)	Equipamento(Ligado)	TempVentil(s)	TempNebul(s)
1	22/05/2018	12:10:14	35,91	30,39	76,77	Ventilador/Nebulizador	600	600
2	22/05/2018	12:20:14	35,77	31,00	76,78	Ventilador/Nebulizador	1200	1200
3	22/05/2018	12:30:14	34,96	31,11	75,46	Ventilador/Nebulizador	1800	1800
4	22/05/2018	12:40:14	34,88	31,20	75,36	Ventilador/Nebulizador	2400	2400
5	22/05/2018	12:50:14	34,64	32,93	75,60	Ventilador/Nebulizador	3000	3000
6	22/05/2018	13:00:14	34,60	33,87	75,90	Ventilador/Nebulizador	3600	3600
7	22/05/2018	13:10:14	34,22	34,39	75,44	Ventilador/Nebulizador	4200	4200
8	22/05/2018	13:20:14	34,10	34,49	75,26	Ventilador/Nebulizador	4800	4800
9	22/05/2018	13:30:14	33,70	34,65	74,64	Ventilador/Nebulizador	5400	5400
10	22/05/2018	13:40:14	33,45	35,04	74,35	Ventilador/Nebulizador	6000	6000
11	22/05/2018	13:50:14	33,45	35,70	74,58	Ventilador/Nebulizador	6600	6600
12	22/05/2018	14:00:14	33,14	35,96	74,15	Ventilador/Nebulizador	7200	7200
13	22/05/2018	14:10:14	32,76	36,58	73,71	Ventilador/Nebulizador	7800	7800
14	22/05/2018	14:20:14	32,25	38,24	73,38	Ventilador/Nebulizador	8400	8400
15	22/05/2018	14:30:14	31,78	40,68	73,36	Ventilador 9000	8400	
16	22/05/2018	14:40:14	30,43	40,84	71,07	Nenhum	9000	8400
17	22/05/2018	14:50:14	29,88	41,22	70,25	Nenhum	9000	8400
18	22/05/2018	15:00:14	29,87	41,23	70,23	Nenhum	9000	8400
19	22/05/2018	15:10:14	29,77	41,54	70,15	Nenhum	9000	8400
20	22/05/2018	15:20:14	29,22	42,00	69,35	Nenhum	9000	8400

Tempos de acionamento dos equipamentos:
 DATA: 22/05/2018
 Ventilador: 02:30:00 horas
 Nebulizador: 02:20:00 horas

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 2 ilustra-se o conteúdo do arquivo-texto gerado pelo sistema. Verifica-se que os valores das variáveis climatológicas e informações de cada leitura são armazenadas a cada 10 minutos como esperado. Como complemento, o arquivo contém dados referentes

ao estado e tempo de funcionamento. Entretanto, o tempo de espera para realizar a leitura e o número de medições por minuto podem ser alterados a critério do suinocultor. Também, o módulo do cartão SD pode ser retirado do conjunto, caso não exista interesse na análise dos dados. Nesse caso, o sistema apenas controlaria o acionamento dos equipamentos.

Conforme a Figura 2, o teste foi realizado no dia 22 de maio de 2018, iniciando-se a coleta dos dados às 12:00:14 horas. Nessa data e horário as condições de conforto ambiental foram consideradas como críticas, isto é, elevada temperatura e baixa umidade, resultando em valores de entalpia maiores do que o limite superior recomendado na literatura (SAMPAIO *et al.*, 2004; CAMPOS *et al.*, 2008; PANDORFI *et al.*, 2008; KIEFER *et al.*, 2009; KIEFER *et al.*, 2010; VIEIRA *et al.*, 2010; SALES *et al.*, 2011; NAZARENO *et al.*, 2012; COUTINHO *et al.*, 2014).

Entretanto, após aproximadamente duas horas e meia de funcionamento do ventilador e nebulizador, as condições ambientais favoráveis ao desempenho animal foram atingidas e estabilizadas. Deve-se salientar, ainda, que o sistema acionará esses equipamentos, apenas, quando for necessário, o que contribuirá significativamente para a economia de água e energia, tornando a propriedade mais sustentável e o empreendimento mais rentável.

Outros trabalhos têm utilizado o programa PLX-DAQ para armazenar os dados lidos por sensores em comunicação com a plataforma Arduino (CAVALCANTE *et al.*, 2014; ROCHA; GUADAGNINI, 2014; SILVA *et al.*, 2014; DWORAKOWSKI *et al.*, 2016). Nessa alternativa, os dados são enviados diretamente para uma planilha EXCEL por meio da porta serial e em seguida podem ser realizados diversos procedimentos como a elaboração de gráficos e a análise de estatística descritiva. Entretanto, essa opção praticamente inviabilizaria o uso do sistema pelos produtores rurais, pois seria necessário um computador com a referida planilha, o que sem dúvidas levaria a gastos extras e também conhecimentos básicos de informática. Por outro lado, o sistema proposto neste trabalho é totalmente independente e poderá ser alimentado, inclusive, por um carregador de celular com saída de 5 V, facilitando sua aplicação. Além disso, os dados do arquivo-texto podem ser exportados simplesmente para uma planilha eletrônica de código livre, como por exemplo o CALC do Livre Office.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos neste estudo conclui-se que é possível a automação de processos em pequenas propriedades rurais, especificamente o controle e o monitoramento das condições ambientais em instalações suinícolas. Na presente pesquisa comprovou-se que o uso de um microcontrolador de baixo custo ligado a sensores e equipamentos poderá contribuir substancialmente com o conforto térmico do animal. Também, deve-se salientar que o uso do sistema proposto poderá reduzir o consumo de água e energia na

propriedade, pois os equipamentos são acionados, apenas, durante o período necessário e com base em critérios técnicos consolidados.

Outro aspecto relevante a ser mencionado é a flexibilidade e simplicidade do sistema, isto é, os módulos do relógio interno (RTC DS3231) e do cartão de memória SD poderão ser retirados, sem prejuízo do seu funcionamento. Esses módulos foram incluídos, simplesmente, para monitorar a coleta dos dados que futuramente serão utilizados no aperfeiçoamento do próprio sistema, bem como no ensino e pesquisa da nossa instituição. Concomitantemente, consideramos que este trabalho servirá como uma ferramenta útil e viável nas mãos dos suinicultores, contribuindo assim, com a sustentabilidade de seus empreendimentos.

■ REFERÊNCIAS

1. ALBRIGHT, L. D. Environment control for animals and plants. **ASAE Textbook**, St. Josep, v. 4. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan, 1990. 453p.
2. BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981.
3. CAMPOS, J. A. et al. Ambiente térmico e desempenho de suínos em dois modelos de maternidade e creche. **Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 3, p. 187-193, maio/jun. 2008.
4. CAVALCANTE, M. M. et.al. A plataforma Arduino para fins didáticos: estudo de caso com recolhimento de dados a partir do PLX-DAQ. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO (CSBC), 34, p. 1687-1696, 2014, Brasília, DF. **Anais...** CSBC: Brasília, 2014.
5. CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Agricultura familiar**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/agricultura-familiar>> Acesso em: 12 dez. 2017.
6. COUTINHO, G. S. et al. Conforto térmico e manejo de suínos na maternidade levando em consideração o bem-estar animal. **Revista Eletrônica Nutritime**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 3109-3119, jan./fev. 2014.
7. CUNHA, K. C. B.; ROCHA, R.V. Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino. **RECoDAF: Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 1, n. 2, p. 62-74, jul./dez. 2015.
8. DWORAKOWSKI, L. A. et al. Uso da plataforma Arduino e do software PLX-DAQ para construção de gráficos de movimento em tempo real. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 3, jul./set. 2016.
9. EMBRAPA. **Estatísticas**: desempenho da produção. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Concórdia - SC. Embrapa Suínos e Aves. [20??], Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>>. Acesso em: 12 dez. 2017.
10. ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. Westport: Avi, 1982. 325p.

11. FERREIRA, B. O. et al. Irrigação automatizada com plataforma Arduino em casa de vegetação na Universidade Federal Rural da Amazônia. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA (CONTECC), 2016, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: CONTECC, p. 1-5. 2016.
12. KIEFER, C. et al. Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. **Revista Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 221, p. 55-64. mar. 2009.
13. KIEFER, C. et al. Respostas de suínos em terminação mantidos em diferentes ambientes térmicos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 11, n. 2, p. 496-504, abr./jun. 2010.
14. KOLCENTI, C. et al. Desenvolvimento sustentável no uso das tecnologias para juventude rural. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE (S2IS), 2. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, (SIGEP), 3., São Paulo, 2014. **Anais**. 2014. São Paulo: Editora S2IS, SIGEP, p. 1-9. 2014.
15. MCROBERTS, M. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec, 2011. 453p.
16. MELO, R. T. et al. Sistema automático de irrigação de baixo custo. In: Encontro Unificado de Computação (ENUCOMP), 9., Teresina, 2016. **Anais...** Teresina: ENUCOMP, [n. p.]. 2016.
17. NAZARENO, A. C. et al. Caracterização bioclimática de sistemas ao ar livre e confinado para a criação de matrizes suínas gestantes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 314-319, jul./set. 2012.
18. OKABE, A. M. S. et al. Monitoramento da temperatura e umidade relativa em um ambiente para secagem de madeira. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 1., Fortaleza, 2015. **Anais...** Fortaleza: SOEA, [s. p.]. 2015.
19. PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S. Conforto térmico para matrizes suínas em fase de gestação, alojadas em baias individuais e coletivas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 326-332, jul./set. 2008.
20. PENIDO, E.C.C. **Projetos de automação com Arduino**: guia detalhado para aplicações industriais, residenciais e agrícolas. Viçosa: Editora UFV, 2017. 168p.
21. REIS, R. R. S. et al. Sistema automatizado de irrigação: uma solução de baixo custo para agricultura. In: Jornada de Iniciação Científica e Extensão, 6., [s. l.], 2015. **Anais...**, [s. l.], [s. e.], [s. p.]. 2015.
22. ROCHA, F. S.; GUADAGNINI, P. H. Projeto de um sensor de pressão manométrica para ensino de física em tempo real. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 31, n. 1, p. 124- 148, abr. 2014.
23. SALES, F. A. L. et al. Monitoramento ambiental do perfil horizontal de um galpão para suínos, na fase de gestação, utilizando zootecnia de precisão. **Revista Científica de Produção Animal**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 7-12. 2011.
24. SAMPAIO, C. A. P. et al. Avaliação do ambiente em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 785-790, maio/jun. 2004.

25. SILVA, J. L. S. et al. Plataforma Arduíno integrado ao PLX-DAQ: análise e aprimoramento de sensores com ênfase no LM35. In: Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe, 14., Feira de Santana, 2014. **Anais...** Feira de Santana: [s. e.], 2014.
26. THOM, E. C. Cooling degrees-days air conditioning, heating, and ventilating. **Transactions of the ASAE**, [s. l.], v. 55, n. 7, p. 65-72, 1958.
27. VIEIRA, R. F. N. et al. Índices de conforto na avaliação do bem-estar animal de matrizes suínas em diferentes sistemas de criação. **Nucleus Animalium**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 63-70, maio. 2010.

Suplementação de selênio para pós-larvas de tilápia-do-Nilo: uma revisão narrativa

| **João Marcos Monteiro Batista**
UFG

| **Alison Batista Vieira Silva Gouveia**
UFG

| **Lorrayne Moraes de Paulo**
UFG

| **Allan Gabriel Ferreira Dias**
UFG

| **Júlio César Lopes Brasileiro**
UFG

| **Patryck da Costa Dias**
UFG

| **Leonardo Augusto Fonseca Pascoal**
UFPB

RESUMO

Das espécies de peixes criados no Brasil, a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) é considerada uma das espécies mais produtivas, apresentando vantagens como o rápido crescimento, bom rendimento de filé, resistência a baixa qualidade de água e boa aceitação do mercado consumidor. Dentro de uma ração para pós-larvas de tilápias dos Nilo, diversos aspectos devem ser avaliados para melhor balanceamento nutricional. O selênio é um mineral que faz parte de um sistema de defesa antioxidante. Este sistema auxilia na proteção das células contra os efeitos adversos das espécies reativas de oxigênio e outros radicais livres que iniciam a oxidação. O selênio é um micromineral que possui margem estreita entre os níveis de exigência e toxidez. As exigências são baixas, mas se não atingida, podem comprometer o sistema antioxidante e causar graves consequências para o metabolismo do animal. Devido a capacidade de reter o selênio nos tecidos, faz da carne de pescado um interessante alimento funcional para a nutrição humana, especialmente como boa fonte de selênio. A tilápia-do-Nilo tem um nível de exigência específica de selênio que não pode ser satisfeito somente pelo ambiente aquático. Desta forma uma correta suplementação na dieta de selênio para pós-larvas de tilápias dos Nilo poderá garantir um maior desenvolvimento e posteriormente um melhor desempenho destes animais. Portanto, objetivo desta revisão narrativa é mostrar a importância da utilização de selênio para a fase de pós-larvas de tilápias do Nilo, visto que há uma lacuna de nessa fase de criação, com trabalhos sobre a perspectiva de melhoria no desempenho e na imunidade.

Palavras-chave: Nutrição Mineral, Piscicultura, Selenoproteína.

■ INTRODUÇÃO

A pesca é uma atividade baseada no extrativismo e no uso dos recursos naturais sem o devido planejamento, enquanto a aquicultura é a atividade controlada pelo homem com o objetivo de exploração produtiva econômica e financeira (Schulter & Vieira Filho, 2018).

A produção de pescado, que por muitos anos teve sua origem da pesca, hoje em dia, passa por uma estagnação, sobretudo pela exploração dos estoques pesqueiros, e assim na aquicultura encontrou a saída para a continuidade do crescimento sustentável, no meio de produção piscícola.

Esse crescimento é principalmente devido estudos realizados com ênfase na nutrição de peixes, onde uma gama de pesquisas comprovam que dietas devidamente balanceadas com aminoácidos e minerais, fornecem o suporte da formação do tecido ósseo e muscular dos peixes, onde os minerais é extremamente importante nesse contexto, tornado de suma importância a oferta ao peixes desde os seus primeiros dias de eclosão, pois os minerais são exigidos em grandes quantidade para formação do tecido ósseo como também para mantê-lo em boas condições imunológica, como por exemplo o selênio se destaca nesse sentido ao proporcionar condições imune ideais para as larvas e pós-larvas de peixes quando suplementados, e assim, obtê-los em ótimas condições de saúde, para que possam expressar o máximo do seu potencial produtivo, com excelentes desempenhos em todas as fases posteriores de desenvolvimento (Iswarya *et al.*, 2018).

Como elemento traço essencial, o selênio é parte integrante das selenoproteínas que participam de vários processos fisiológicos em animais de produção (Lin & Shiau, 2005; Kohrle *et al.*, 2005; Gonçalves *et al.*, 2010). Com a descoberta da primeira glutathione peroxidase de selenoproteína (GPX1) (Rotruck *et al.*, 1973). A importância biológica específica de selênio tornou-se clara, pois as selenoproteína são responsáveis pelas diversas funções biológicas e vias moleculares do selênio, e todas elas contêm pelo menos uma selenocisteína (Labunskyy *et al.*, 2014).

As glutathione peroxidases estão envolvidos na sinalização do peróxido de hidrogênio (H_2O_2), desintoxicação de hidroperóxidos e manutenção da redoxomeostase celular, e o GPX₁ é o melhor abundante na proteína manica, que age como antioxidante ativo na célula que busca peróxido de hidrogênio tóxica (Lubos *et al.*, 2011). A síntese de selenoproteínas é regulada pela disponibilidade de selênio, e quando a disponibilidade de selênio é limitada, é fornecida para a síntese de certas selenoproteínas em detrimento de outras (Seyedali & Berry, 2014). A digestibilidade e metabolismo do selênio variam conforme a fonte ingerida.

Apesar da elevada importância que os microminerais apresentam na nutrição de peixes, na literatura ainda apresenta deficiência de estudos na nutrição mineral de peixes na fase inicial de desenvolvimento. Com isso faz se necessário estudo com suplementação

de diferentes fontes e níveis de selênio para pós-larvas de tilápias dos Nilo, onde o mesmo pode embasar outros estudos posteriores. Portanto, objetivou-se realizar esta revisão científica sobre a utilização de selênio para a fase de pós-larvas de tilápias do Nilo, visto que há uma lacuna nessa fase criação de peixes, com trabalhos na perspectiva de melhoria no desempenho e na imunidade.

■ NUTRIÇÃO MINERAL DE PÓS-LARVAS

Os minerais são nutrientes essenciais que exercem processos biológicos fundamentais no funcionamento do metabolismo, e mantêm a higidez dos peixes no meio aquático, ou seja, proporciona características saudáveis aos peixes que recebem em suas dietas os minerais devidamente balanceados e atendendo às exigências nutricionais da espécie.

Alguns desses minerais são absorvidos pelos peixes na água, como por exemplo o cálcio, ferro, magnésio, zinco, sódio, selênio, potássio e entre outros. Ao suplementar esses minerais pode proporcionar melhorias no desempenho produtivo dos animais, um exemplo é o selênio que atua no metabolismo animal, principalmente na redução dos peróxidos de hidrogênio que é um dos causadores de radicais livres nas células dos animais, e em virtude disso acarreta maior crescimento, e alto ganho de peso, por outro lado, a deficiência de selênio pode prejudicar essas variáveis, e reduzir a imunidade dos peixes, aumentando consequentemente a probabilidade dos peixes adoecerem.

No entanto, quando a suplementação de selênio ultrapassa de forma excessiva a exigência, pode trazer resultados negativos no ganho de peso dos peixes, essa redução está relacionada intimamente com a toxicidade primária causada pelo selênio, que prejudica o processo de síntese proteica pela substituição do enxofre pelo selênio, quando houver a suplementação de aminoácidos sulfurados (Lemly, 2002; Gimbo *et al.*, 2011). Podendo apresentar enzimas de moléculas proteicas distorcidas e disfuncionais. As altas doses de selênio causam toxidez em peixes, devido à contaminação do ecossistema aquático, e consequentemente provocar depressão do crescimento ou até mesmo mortalidade dos peixes (Gatlin III & Wilson, 1984; Gimbo *et al.*, 2011).

As fontes de selênio utilizadas nas dietas dos animais podem ser de duas formas inorgânica e orgânica. As formas inorgânicas são sais de selênio, os quais as plantas possuem a capacidade de absorver do solo e convertê-los na forma orgânica: selenometionina (SeMet) e selenocisteína (SeCis), que podem ser incorporadas às proteínas. Por outro lado, os animais não conseguem sintetizar totalmente quando se apresenta neste formato, devido à menor biodisponibilidade da mesma para o organismo dos peixes. O selênio orgânico possui excelente potencial para depositar selênio no músculo, devido a se apresentar em geral na forma de selenometionina (Zhan *et al.*, 2007).

Em geral, o selênio orgânico e inorgânico apresenta diferentes vias de absorção e metabólicas em animais. A incorporação de selênio na dieta causa variados níveis de deposição, fisiologia, respostas imunes e qualidade da carne em animais domésticos (Lin, 2014). A determinação das fontes de selênio em dietas para peixes foram das seguintes formas, onde as espécies inorgânicas de selênio foram determinadas na alimentação utilizando troca aniônica após extração com hidróxido de sódio, enquanto o selenometionina é determinado em ração de peixes usando troca aniônica após extração enzimática, já para determinar o selenocisteína é aplicado um passo de derivatização antes da extração enzimática para estabilizar esta espécie de Se para análise usando de fase reversa (Godin *et al.*, 2015; Sele *et al.*, 2018).

O selênio é um oligoelemento essencial para a saúde humana e animal (Schrauzer, 2003; Surai, 2006). Apesar de mais utilizado para suplementação de dietas, o selenito de sódio (selênio inorgânico) pode gerar uma grande produção de radicais peróxidos, causando estresse oxidativo pela reação de redução com a glutatona reduzida (Surai, 2002), além de formar quelatos com outros minerais (Gowdy, 2004).

Em comparação com o selênio inorgânico, o selênio quelatado possui maior taxa de absorção, acumulação no tecido, biodisponibilidade antioxidante e menor toxicidade e poluição ambiental (Vendeland, 1994). A selenometionina possui um excelente potencial para depositar selênio em tecidos e aumentar o estado antioxidante (Zhan *et al.*, 2007). Dessa forma, a substituição do selênio inorgânico convencional por selênio complexado a molécula orgânica recebeu mais atenção, e vem sendo estudado a sua inclusão em dietas para animais (Kelly & Power, 1995). Em comparação com a fonte inorgânica para promover o desempenho de crescimento semelhante em espécies de aquicultura. É geralmente aceito que o selênio orgânico (por exemplo, selenometionina) esteja mais prontamente disponível do que o selênio inorgânico (por exemplo, selenito de sódio) em peixes (Jaramillo *et al.*, 2009).

Godin *et al.* (2015), em estudo com alevinos de truta alimentadas com dietas contendo leveduras selenadas observou maiores concentrações de selenometionina em comparação com as dietas suplementadas com selenito. Além disso, a selenometionina é a principal espécie de selênio orgânico com maior suplementação em dietas para peixes, devido a origem de ingredientes como farinha de peixes ser rica na espécie de selênio levedura, onde representa de 28% a 41% de selênio total nas dietas para peixes (Sele *et al.*, 2018).

A quelação de minerais tem se destacado na nutrição animal devido aumentar a absorção de minerais-traço, contido no alimento ingerido pelo mesmo. Em comparação com as fontes de sais inorgânicos, e minerais quelados a mesma molécula orgânica, ou seja, o mineral orgânico foi relatado obter maior biodisponibilidade em dietas práticas, impedindo a forte absorção de oligoelementos em coloides insolúveis. Isso devido os minerais estruturalmente

estáveis quelados serem menos sensíveis à ação inibitória do fitato em dietas práticas baseadas em plantas (Bharadwaj *et al.*, 2014). Por tanto, os animais aquáticos mostram uma melhor resposta com uma suplementação de elementos orgânicos sobre fontes inorgânicas (Katya *et al.*, 2016).

■ EXIGÊNCIA DE SELÊNIO PARA TILÁPIAS

A exigência nutricional desse mineral varia com a fonte de suplementação utilizada, disponibilidade na dieta, concentração de ácidos graxos poliinsaturados e vitamina E no alimento, como também com o nível de selênio existente na água. O selênio da água absorvido pelas brânquias é estocado diretamente em vários tecidos, exceto no fígado, que o recebe via sangue, por meio da alimentação (Pezzato *et al.*, 2004).

Em dietas para peixes o selênio apresenta valores de exigência entre 0,2 a 0,5 mg/kg (Steffens, 1989). O selênio na forma de selenito, apresenta uma absorção frequente pelas brânquias, mesmo encontrando-se em baixa concentrações no ambiente aquático, assim a água pode favorecer parte do selênio que o peixe precisa, onde dificulta, portanto, a determinação das exigências desse mineral (NRC, 2011). O selênio está presente nos ecossistemas aquáticos originários de fontes naturais e antropogênicas (Navarro-Alarcon & Cabrera-Vique, 2008). Os níveis de selênio geralmente estão na faixa de 1 a 10 µg/L em água natural (Sohrin & Bruland, 2011).

No entanto, ainda observamos muitas controversas sobre o nível ideal de suplementação de selênio para peixes, como por exemplo o NRC (2011), sugeriu uma suplementação de 0,25 mg/kg para peixes. Vários estudos compilados sobre as exigências de minerais em peixes, serviram como referências para o presente estudo. No entanto observamos uma escassez de trabalhos que indique um nível de suplementação de selênio ideal para pós-larvas de tilápia.

Em um estudo realizado por Lee *et al.* (2016) foi observado uma correlação positiva entre o crescimento de tilápia do Nilo e o nível de inclusão de selênio. Utilizando uma suplementação de selênio com um intervalo dietético de 0,3 a 2,06 mg/kg. Esse resultado foi semelhante ao observado em outro estudo, que suplementou níveis selênio entre 0,32 a 1,32 ppm (Nguyen *et al.*, 2019).

O nível de exigência de selênio para abalone (*Haliotis discus hannai*) (1,408 mg/kg) (Wang *et al.*, 2012), pargo (*Acanthopagrus schlegelii*) (0,23 mg / kg) (Lee *et al.*, 2008), truta arco-íris (*Salmo Gairdneri*) (0,15-0,38 mg/kg de dieta) (Hilton *et al.*, 1980), bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) (0,25 mg/kg de dieta) (Gatlin & Wilson, 1984) e garoupa (*Epinephelus malabaricus*) (0,7 mg/kg de dieta) (Lin & Shiau, 2005) foram relatados. Por outro lado, poucos relatos sugeriram com um nível de inclusão maior que 9,16 mg/kg em abalone (Wang

et al., 2012) sendo a suplementação de selênio com valores superiores ao supracitado tóxica aos peixes.

Segundo Takahashi *et al.* (2017), a suplementação de selênio para alevinos de peixes em um sistema intensivo de produção, com níveis de selênio levedura abaixo de 1,56 mg/kg na ração é possível de aumento do consumo, na perspectiva de atender exigência por selênio. Portanto, o aumento no consumo se faz necessário para prevenir ação imunossupressora do estresse oxidativo simultaneamente, e melhorar o desempenho e as respostas imunes e antioxidantes dos peixes. Lee *et al.* (2016), sugeriram níveis ideais de selênio em dietas para juvenis de tilápias acima de 1,06 e abaixo de 2,06 mg selênio/kg de ração, e consideraram o nível tóxico de selênio dietético entre 6,31 e 14,7 mg selênio/kg de ração. Kumar *et al.* (2019) evidenciaram uma menor mortalidade cumulativa, melhor crescimento e melhora no sistema imunológico nos peixes suplementados com níveis de 2 mg selênio/kg de ração, onde esses mesmos autores utilizaram suplementação de 1 e 2 mg selênio/kg de ração.

Monteiro *et al.* (2007), em estudo com matrinxã, utilizando duas dietas sem e com suplementação de 1,5 mg/kg de selênio na ração, evidenciaram resultados satisfatórios para os peixes alimentados com as dietas suplementadas com selênio. Os autores observaram também que os peixes que foram alimentados com a ração suplementada com selênio obtiveram um padrão de natação em círculo típico da espécie com comportamento adequando, enquanto os que não receberam selênio na dieta, apresentaram uma natação errática, além disso os peixes que não receberam selênio exibiram um comportamento mais agitado, e a partir dos 50 dias de arraçoamento os peixes que receberam ração ausente de selênio apresentaram canibalismo. Nesse mesmo estudo, os peixes que receberam 1,5 mg/kg de selênio obtiveram maiores no peso corporal, comprimento total, peso do fígado, ganho de peso e maior nível de hemoglobina, demonstrando assim, que a suplementação de selênio é de fundamental importância para nutrição de peixes.

Independentemente dos avanços na nutrição dos peixes, as informações sobre as exigências de minerais para a tilápia do Nilo, assim como para outros peixes, ainda são limitadas e fragmentadas. Isto é principalmente devido às complexidades decorrentes da capacidade dos animais aquáticos para absorver os minerais da água circundante e de alimentos naturais (algas, micro crustáceos, vermes e outros) disponíveis em ambiente de lagoa para satisfazer parte das suas necessidades nutricionais, bem como da variação de requisitos em resposta à regulação de sal ou pressão osmótica (Nguyen *et al.*, 2019).

A quantidade excessiva de selênio pode ser muito tóxica para organismos aquáticos (Lemly, 2002), encontrando-se em uma estreita faixa, entre necessidades e níveis tóxicos (Kobayashi *et al.*, 2002). Quando é evidenciado em níveis ligeiramente acima da exigência homeostática, o selênio é considerado tóxico (Zhang *et al.*, 2014). Portanto, pode provocar

efeitos de carcinogênese (próstata, fígado), citotoxicidade (bloqueio do ciclo celular e inibição do crescimento celular) e genotoxicidade (afetando o DNA) (Sun *et al.*, 2014). A toxicidade do selênio não está relacionada apenas à sua similaridade química com o enxofre, e sim pela sua capacidade de ser substituída durante a montagem de proteínas, como também ao estresse oxidativo (Lavado *et al.*, 2012). As espécies de selênio, particularmente as inorgânicas, reagem com tióis e geram radicais livres de oxigênio que respondem pela toxicidade das células (Mézes & Balogh, 2009).

Selênio (Se) é um elemento traço essencial e tóxico com uma estreita margem de tolerância nos sistemas biológicos (Wang *et al.*, 2012). A suplementação desse mineral apresenta uma elevada importância na nutrição dos peixes, no entanto, a exigência de selênio para cada espécie e cada fase de desenvolvimento das diferentes espécies de peixes, é que ainda precisa ser devidamente definida. Onde na literatura ainda há uma escassez de informações de exigência e do nível recomendado para as determinadas fase de cultivo dos peixes, como por exemplo na fase de pós-larvas, o desempenho dessa fase de larvicultura até alevinagem, é que vai determinar o bom desenvolvimento das outras fase, influenciar diretamente nas fase subsequentes, com isso a nutrição é pré-requisito básico para o sucesso posterior dos peixes até a fase final de abate, assim a nutrição exerce grande influência no desempenho do peixes.

No metabolismo dos peixes alguns microminerais exercem participação na imunidade e na resistência a doenças. O selênio tem papel fundamental ativo no sistema imunológico, e assim proporciona redução nos riscos de infecção. Devido ao selênio ser um micromineral estimulante da proliferação de linfócitos B, além da produção de anticorpos, e consequentemente assegura um metabolismo adequado (Nicolaou, 2000).

O selênio atua no desenvolvimento dos peixes, crescimento e manutenção da homeostase, ele também atua na proteção das membranas celulares e dos danos oxidativos, através da enzima antioxidante glutathione peroxidase, que provavelmente protege os neutrófilos originados de oxigênio, os quais são produzidos para eliminar organismos estranhos (Liu *et al.*, 2010). Esse mineral apresenta um grande potencial no sistema imune, devido ao selênio ser componente da proteína selenocisteína que participa das reações bioquímica na célula. O papel do selênio na manutenção imunológica só é possível quando todas as funções das selenoproteínas são totalmente descritas (Arthur *et al.*, 2003).

O selênio é incorporado como selenocisteína no sítio ativo de uma vasta gama de proteínas, em condições fisiológicas, a selenocisteína é quase completamente ionizada e consequentemente é considerado um catalisador extremamente eficiente. Tem sido sugerida a existência de cerca de 100 selenoproteínas em mamíferos, dessas, 15 foram purificadas e clonadas, permitindo um estudo aprofundado de suas funções biológicas (Li *et al.*, 2018).

Entre essas selenoproteínas, incluem-se quatro enzimas glutathiona peroxidase (GSH-Px). A GSH-Px1 que está presente na maior parte das células, em seguida a GSH-Px2, que se encontra majoritariamente nas células do trato gastrointestinal, sua função é de proteger os animais da toxidez dos hidroperóxidos ingeridos, a GSH-Px3 que é uma glutathiona peroxidase extracelular, elimina peróxidos no fluido extracelular, é a única selenoproteína conhecida no plasma, e a GSH-Px4 que se encontra na membrana celular (Arthur & Beckett, 1994). A GSH-Px4 detoxifica hidroperóxidos fosfolipídicos, e em conjunto com o d-alfa-tocoferol previne o dano oxidativo das membranas (Brown & Arthur, 2001).

Como também o selênio ajuda na ativa das enzimas antioxidantes não enzimáticas a metalotioneína, funcionam como inibidores de radicais e redutores em conjugação com xenobiótico, apresentando-se como outros sistemas de defesa para desempenhar um papel essencial na proteção dos organismos aquáticos, como por exemplo, contra os efeitos da exposição a metais (Faggio *et al.*, 2018).

Quando o sistema de defesa antioxidante é insuficiente ou inativo, leva danos oxidativos de biomoléculas importantes, como lipídios e proteínas, resultando em níveis mais elevados de peroxidação lipídica e proteína carbonil (Manoj & Padhy, 2013). Poluentes ambientais como metais capazes de causar danos ao DNA diretamente pela ação do metal exposto em organismos aquáticos ou indiretamente, através da produção de ROS (Selênio ativo redox) nos organismos, por sua vez, as ROS têm a tendência de romper a estabilidade do DNA molécula (Gobi *et al.*, 2018). Com isso podemos observar uma gama de efeitos positivos na suplementação de selênio em níveis adequado na dieta para peixes, em um sistema de produção.

O selênio é necessário para a prevenção das reações que resultam na destruição das membranas lipídicas de organelas vitais, como mitocôndrias e microssomos, no corpo animal. Na deficiência de selênio, os peróxidos podem se mover dentro de todos os segmentos celulares, reagindo com as membranas e causando danos severos às células e aos processos vitais. Partindo da premissa que mitocôndrias e microssomos (Ribossomos, etc.) agem na produção de anticorpos e outros mecanismos de defesa, fica claro que níveis adequados de selênio são importantes, além da prevenção de todos os sinais de deficiência, na proteção das organelas responsáveis por construir o sistema de defesa do animal contra doenças e outros tipos de desafios (Oliveira, 2012).

A suplementação de selênio na alimentação de peixes é fundamental, visto que Ilham *et al.* (2016a), em pesquisa utilizando níveis de 2,0 e 4,0 mg/kg de selênio na ração, com temperaturas de 21 e 26 °C, observaram que o conteúdo de selênio no músculo dos peixes apresentou aumento significativo de 1,47 do tratamento controle para 2,33 e 2,86 mg/kg peso seco, à medida que o selênio aumentou na dieta. Isso porque o selênio desempenha um

papel importante no metabolismo de aminoácidos e na incorporação de algumas proteínas, onde o mesmo é ligado organicamente como selenometionina e selenocisteína, portanto, é eficientemente absorvido em todo o trato gastrointestinal dos peixes. Embora a selenocisteína seja uma fonte mais disponível de Se para a síntese de selenoproteína, apenas a selenometionina é incorporada às proteínas do corpo (Gropper *et al.*, 2009). Estudos com peixes, comprovam que o tecido muscular é um dos principais locais de armazenamento de Selênio (Burk & Hill, 1993).

Além do músculo ser o principal local de armazenamento de selênio, análises histológicas com fibras necróticas nos músculos de peixes, evidenciaram que peixes que receberam suplementação de selênio nas dietas não apresentaram alterações na musculatura dos mesmos. Além disso, com realização de exames histopatológicos, foi observado 20,3% de lesões na musculatura esquelética dos peixes que não receberam em suas dietas a suplementação de selênio (Ilham *et al.*, 2016a).

Em outro estudo Ilham *et al.* (2016b) observaram que a deficiência de selênio para peixes provocou o aparecimento de sinais típicos de distrofia muscular nutricional, onde os mesmos atribuíram a deficiência de selênio, juntamente com a falsificação, desconexão e ruptura longitudinal das fibras musculares. No entanto, quando os peixes receberam em suas dietas a suplementação de selênio, foi observado no tecido dos peixes uma estrutura normal do músculo esquelético na seção transversal, apresentando, portanto, fibras musculares arredondas, densamente compactadas e uniformemente idênticas. Além disso, dietas sem suplementação de selênio causam notáveis alterações morfológicas no fígado de peixes, caracterizadas por variações na vacuolização de hepatócitos, com um aumento na quantidade de gotículas lipídicas.

O estresse oxidativo se estabelece no organismo quando a capacidade de neutralizar os radicais livres ou espécies reativas de oxigênio é reduzida devido à grande formação de tais agentes oxidativos. Alguns metabólitos são gerados no processo de oxidação, os quais podem ser utilizados como biomarcadores do estresse oxidativo (Vicent *et al.*, 2008). Os marcadores são oriundos da oxidação de lipídios, proteínas e DNA, sendo a maior parte da formação oriunda da oxidação lipídica. Em diversos estudos o fígado tem sido apontado como um dos primeiros órgãos a sofrer danos oxidativos (Antonopoulou *et al.*, 2013).

Os organismos apresentam alguns artifícios para combater as espécies reativas de oxigênio ou radicais livres, na tentativa de manter a integridade celular. Esses mecanismos podem ser classificados em enzimáticos e não enzimáticos. Dentre os não enzimáticos pode-se destacar algumas vitaminas, glutathionas, flavonóides, entre outros (Reischl *et al.*, 2007). Entre os agentes antioxidantes enzimáticos destacam-se as enzimas glutathione peroxidase,

catalase, glutathione redutase, glutathione S-transferase, superóxido dismutase e glicose 6-fosfato desidrogenase (Van Der Oost *et al.*, 2003; Reischl *et al.*, 2007).

O selênio é um mineral que recebeu considerável atenção na nutrição animal, sendo um componente da enzima glutathione peroxidase (Rotruck *et al.*, 1973). Esta enzima catalisa reações que são necessárias para a conversão de peróxido de hidrogênio e hidroperóxidos de ácidos graxos em água e álcool de ácidos graxos usando glutathione reduzida, protegendo assim as membranas celulares contra danos oxidativos. O selênio também demonstra regular a inflamação, respostas imunes, atividades antitumoral e hormônios tireoidianos em animais (Kohrle *et al.*, 2000). Além disso, o selênio é um nutriente essencial para os peixes (Le & Fotadar, 2013). Nesse sentido a suplementação de fontes e níveis de selênio para pós-larvas de tilápias do Nilo se faz necessário, como já observado os benefícios do devido microelemento, quando suplementado nutricionalmente em dietas para os peixes.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode ser concluído que o selênio é essencial na nutrição animal, assim como na nutrição de pós-larvas de tilápia-do-Nilo, pois protegem as células contra o processo oxidativo, auxilia na prevenção de doenças metabólicas e infecciosas, devido a redução da ação das espécies reativas de oxigênio, portanto, a suplementação de selênio deve ser realizada a fim de manter a saúde destes animais.

Diversos estudos foram e estão sendo realizados para determinar o nível adequado de selênio, que atenda as exigências nutricionais das diversidades de espécies de peixes, contudo, para atender as exigências de pós-larvas de tilápia-do-Nilo, na literatura ainda há poucos estudos que possam definir um nível de excelência de selênio. Porém, os estudos realizados até o momento mostram que a suplementação de selênio na ração destes peixes é realizada em níveis de aproximadamente 0,2 a 4,0 mg/kg de selênio na ração, o que demonstra que mais estudos deverão ser realizados para definir um nível de suplementação adequado deste mineral, que possua extrema importância na saúde dos peixes, principalmente para a fase de pós-larva. Contudo, deve se salientar que o excesso dos teores de selênio na ração também pode ter um efeito tóxico, podendo resultar nos problemas de raquitismo, como também diminuição do consumo de ração e aumento da mortalidade.

■ REFERÊNCIAS

1. ANTONOPOULOU, E. et al. Starvation and re-feeding affect Hsp expression, MAPK activation and antioxidant enzymes activity of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A**, v. 165, n. 1, p. 79-88, 2013.
2. ARTHUR JR, W. et al. Effectiveness of training in organizations: A meta-analysis of design and evaluation features. **Journal of Applied psychology**, v. 88, n. 2, p. 234-245, 2003.
3. ARTHUR, J. R.; BECKETT, G. J. New metabolic roles for selenium. **The Proceedings of the Nutrition Society**, v. 53, n. 3, p. 615-624, 1994.
4. BHARADWAJ, S. A. et al. Comparative evaluation of an inorganic acid and a source of commercial chelated copper in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed diets containing phytic acid. **Aquaculture**, v. 422-423, p. 63-68, 2014.
5. BROWN, K. M.; ARTHUR, J. R. Selenium, selenoproteins and human health: a review. **Public health nutrition**, v. 4, n. 2b, p. 593-599, 2001.
6. BURK, R. F.; HILL, K. E. Regulation of selenoproteins. **Annual Review of Nutrition**, v. 13, p. 65-81, 1993.
7. FAGGIO, C.; TSARPALI, V.; DAILIANIS, S. Mussel digestive gland as a model for assessing xenobiotics: an overview. **Science of the Total Environment**, v. 636, p. 220-229, 2018.
8. GATLIN III, D.M.; WILSON, R.P. Dietary selenium requirement of fingerling channel catfish. **The Journal of Nutrition**, v. 114, p. 627-633, 1984.
9. GIMBO, R.Y. **Suplementação dietética de selênio e vitamina E: variáveis fisiológicas e desempenho de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**. 2011. 71p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, Brasil, 2011.
10. GOBI, N. et al. Bioaccumulation, cytotoxicity and oxidative stress of the acute exposure selenium in *Oreochromis mossambicus*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 162, p. 147-159, 2018.
11. GODIN, S. et al. Influence of dietary selenium species on selenoamino acid levels in rainbow trout. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, p. 6484-6492, 2015.
12. GONÇALVES, A. C. S. et al. Desempenho produtivo de tambacus alimentados com dietas suplementadas com vitamina E. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 1005-1011, 2010.
13. GOWDY, J.M. The revolution in welfare economics and its implications for environmental valuation and policy. **Land economics**, v. 80, n. 2, p. 239-257, 2004.
14. GROPPER, S. A. S. et al. **Advanced Nutrition and Human Metabolism**. Wadsworth/Cengage Learning, Austrália; Estados Unidos, 2009.
15. HILTON, J. W. et al. The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo Gairdneri*). **The Journal of Nutrition**, v. 110, n. 12, p. 2527-2535, 1980.

16. ILHAM, I.; GROWTH, R. antioxidant capacity and muscle histochemistry of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi* Valenciennes 1883): Selenium and temperature interaction. **Animal Feed Science and Technology**, v. 217, p. 76-86, 2016a.
17. ILHAM, I. et al. Effects of organic selenium supplementation on growth, glutathione peroxidase activity and histopathology in juvenile barramundi (*Lates calcarifer* Bloch 1970) fed high lupin meal-based diets. **Aquaculture**, v. 457, p. 15-23, 2016b.
18. ISWARYA, A. et al. β -1, 3 glucan binding protein-based selenium nanowire enhances the immune status of *Cyprinus carpio* and protection against *Aeromonas hydrophila* infection. **Fish and Shellfish Immunology**, v.83 p.61-75, 2018.
19. JARAMILLO JR, F. et al. Selenium nutrition of low-striped hybrid (*Morone chrysops* x *M. Saxatilis*) bioavailability, toxicity and interaction with vitamin E. **Aquaculture Nutrition**, v. 15, p. 160-165, 2009.
20. KATYA, K. et al. Effects of inorganic and chelated minerals (Cu, Zn, Mn and Fe) on marine hammer fish, *Sebastes schlegelii* (Hilgendorf), fed diets containing phytic acid. **Journal of Aquaculture Research and Development**, v. 48, p. 4165-4173, 2016.
21. KELLY, M. P.; POWER, R. F. Fractionation and identification of the major selenium containing compounds in selenized yeast. **Journal of Dairy Science**, v. 78, p. 231-237, 1995.
22. KOBAYASHI, Y. et al. Selenosugars are key and urinary metabolites for selenium excretion within the required to low-toxic range. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 25, p. 15932-15936, 2002.
23. KÖHRLE, J. et al. Selenium in biology: facts and medical perspectives. **Journal of Biological Chemistry**, v. 381, p. 849-864, 2000.
24. KOHRLE, J. et al. Selenium, the thyroid, and the endocrine system. **Endocrine Reviews**, v. 26, n. 7, p. 944-984, 2005.
25. KUMAR, N.; SINGH, N. P. Effect of dietary selenium on immuno-biochemical plasticity and resistance against *Aeromonas veronii biovar sobria* in fish reared under multiple stressors. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 84, p. 38-47, 2019.
26. LABUNSKYY, V. M. et al. Selenoproteins: molecular pathways and physiological roles. **Physiological Reviews**, v. 94, p. 739-777, 2014.
27. LAVADO, R. et al. Effects of salinity on the toxicity and biotransformation of L-selenomethionine in Japanese medaka (*Oryzias latipes*) embryos: mechanisms of oxidative stress. **Aquatic Toxicology**, v. 108, p. 18-22, 2012.
28. LE, K. T.; FOTEDAR, R. Dietary selenium requirement of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). **Agricultural Sciences**, v. 4, n. 6, p. 68-75, 2013.
29. LEE, S. et al. Effects of different levels of selenium (Se) on diet on growth, accumulation of Se in tissue and histopathological changes in black sargo, *Acanthopagrus schlegelii*. **Asian-Australian Journal of Animal Science**, v. 21, n. 12, p. 1794-1799, 2008.
30. LEE, S. et al. Dietary requirement of selenium and levels of toxicity in juveniles of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 464, p. 153-158, 2016.

31. LEMLY, A.D. **Selenium Assessment in Aquatic Ecosystems**. In: A Guide for Hazard Evaluation and Water Quality Criteria. Springer-Verlag, New York, 2002.
32. LI, J. L. et al. Effects of different selenium sources on growth performance, antioxidant capacity and meat quality of local chinese subei chickens. **Biological trace element research**, v. 181, n. 2, p. 340-346, 2018.
33. LIN, Y.H.; SHIAU, S.Y. Dietary requirements of juvenile grouper selenium, *Epinephelus malabaricus*. **Aquaculture**, v. 250, p. 356-363, 2005.
34. LIN, Y-H. Effects of dietary organic and inorganic selenium on the growth, selenium concentration and meat quality of juvenile grouper *Epinephelus malabaricus*. **Aquaculture**, v. 430, p. 114-119, 2014.
35. LIU, K. et al. Dietary selenium requirement for juvenile cobia, *Rachycentron canadum* L. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 10, p. 594-601, 2010.
36. LUBOS, E. et al. Glutathione peroxidase-1 in health and disease: from molecular mechanisms to therapeutic opportunities. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 15, n. 7, p. 1957-1997, 2011.
37. MANOJ, K.; PADHY, P. K. Oxidative stress and heavy metals: an appraisal with reference to environmental biology. **International Research Journal of Biological Sciences**, v. 2, n. 10, p. 91-101, 2013.
38. MÉZES, M.; BALOGH, K. Prooxidant mechanisms of selenium toxicity - a review. **Acta Biologica Szegediensis**, v. 53, p. 15-18, 2009.
39. MONTEIRO, D. A. et al. Uso do selênio na dieta de matrinxã, *Brycon cephalus*. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 8, n. 1, p. 32-47, 2007.
40. NAVARRO-ALARCON, M.; CABRERA-VIQUE, C. Selenium in food and the human body: a review. **Science of the Total Environment**, v.400, n. 1-3, p.115-141, 2008.
41. NGUYEN, L. et al. Comparison of organic and inorganic microminerals in all plant diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 498, p. 297-304, 2019.
42. NICOLAOU, K. C. et al. New selenium-based safety-catch linkers: solid-phase semisynthesis of vancomycin. **Angewandte Chemie-German Edition**, v. 112, n. 6, p. 1126-1130, 2000.
43. NRC. **Nutritional requirements of fish and shrimp**. Imprensa Nacional de Academias, 2011.
44. OLIVEIRA, C. E. S. et al. The antidepressant-like action of a simple selenium-containing molecule, methyl phenyl selenide, in mice. **European journal of pharmacology**, v. 690, n. 13, p. 119-123, 2012.
45. PEZZATO, L. E. et al. Nutrição de peixes. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSI, D. M.; CASTAGNOLLI, N. (ED.). 2004. Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva. Editado por José Eurico P. Cyrino. (Et al.) -- São Paulo: TecArt. p. 75-170.
46. REISCHL, J. et al. Increased expression of Wnt5a in psoriatic plaques. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 127, n. 1, p. 163-169, 2007.
47. ROTRUCK, J.T. et al. Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. **Science**, v. 179, p. 585-590, 1973.

48. SCHRAUZER, G. N. The nutritional significance, metabolism and toxicology of selenomethionine. **Advances in food and nutrition research**, v. 47, p. 73-112, 2003.
49. SCHULTER, E. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Desenvolvimento e potencial da tilapicultura no Brasil. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 16, n. 2, p. 177-201, 2018.
50. SELE, V. et al. Selenium and selenium species in feeds and muscle tissue of Atlantic salmon. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 47, p. 124-133, 2018.
51. SEYEDALI, A.; BERRY, M. J. Nonsense-mediated decay factors are involved in the regulation of selenoprotein mRNA levels during selenium deficiency. **RNA Society**, v. 20, p. 1248-1256, 2014.
52. SOHRIN, Y.; BRULAND, K. W. Global status of trace elements in the ocean. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 30, n. 8, p. 1291-1307, 2011.
53. STEFFENS, W. et al. Principles of fish nutrition. Ellis Horwood Limited, 1989.
54. SUN, H.-J. et al. Arsenic and selenium toxicity and their interactive effects in humans. **Environment International**, v. 69, p. 148-158, 2014.
55. SURAI, P.F. **Selenium in nutrition and health**. v. 974. Nottingham: Nottingham university press, 2006.
56. SURAI, P. F. **Natural antioxidants in avian nutrition and reproduction**. Nottingham: Nottingham University Press, 2002.
57. TAKAHASHI, J. S. Transcriptional architecture of the mammalian circadian clock. **Nature Reviews Genetics**, v. 18, n. 3, p. 164, 2017.
58. VAN DER OOST, R. et al. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 13, n. 2, p. 57-149, 2003.
59. VENDELAND, S. C., et al. Uptake of selenite, selenomethionine and selenate by brush border membrane vesicles isolated from rat small intestine. **BioMetals**, v. 7, n. 4, p. 305-312, 1994.
60. VINCENT, J-L.; FORCEVILLE, X. Critically elucidating the role of selenium. **Current Opinion in Anesthesiology**, v. 21, n. 2, p. 148-154, 2008.
61. WANG, W. et al. Dietary requirement of selenium and its toxicity in juvenile abalone *Haliotis discus hannai* Ino. **Aquaculture**, v. 330-333, p. 42-46, 2012.
62. ZHAN, X. et al. A high-mobility electron-transport polymer with broad absorption and its use in field-effect transistors and all-polymer solar cells. **Journal of the American Chemical Society**, v. 129, n. 23, p. 7246-7247, 2007.
63. ZHANG, H. et al. New insights into traditional health risk assessments of mercury exposure: implications of selenium. **Environmental Science & Technology**, v. 48 p. 1206-1212, 2014.

Utilização de DDG e WDG na nutrição de ruminantes

| **Lucas Cavalli Vieira**
UFPEL

| **Daniel José Cavalli Vieira**
UFPEL

| **Rodrigo Chaves Barcellos Grazziotin**
UFPEL

| **Guilherme Poletti**
UFPEL

| **Julio Viegas**
UFSM

| **Juliano Perottoni**
UFSM

| **Rogério Fôlha Bermudes**
UFPEL

RESUMO

O presente trabalho é uma revisão bibliográfica que busca reunir informações referentes a utilização dos grãos de destilaria secos e úmidos na nutrição e alimentação de bovinos destinados a produção de carne ou leite, em diferentes sistemas de produção, sendo utilizados como suplementação a pasto ou em dietas de animais confinados. Os grãos de destilaria podem ser utilizados como fonte de proteína, proteína não degradável no rúmen e como fonte de energia, apresentando resultados positivos na substituição ao farelo de soja. Inclusão de até 40% apresentou resultados positivos com bovinos em terminação confinados, porém o máximo desempenho pode ser atingido com uma inclusão menor. Para vacas leiteiras os grãos de destilaria podem ser utilizados desde que se atente para o teor de lisina. A utilização destes coprodutos pode reduzir a ocorrência de acidose ruminal e promover melhora na eficiência. Em animais a pasto, a substituição do milho e farelo de soja por grãos de destilaria não apresentou resultados negativos. Economicamente a utilização de resíduos de indústria pode ser favorável conforme a oscilação de preços do mercado.

Palavras-chave: Alimento, Bovinos, Etanol, Milho.

■ INTRODUÇÃO

A nutrição é a área de maior importância na produção animal, pois todos os animais domésticos ou selvagens, de produção ou de estimação necessitam uma nutrição adequada para possuir um bom desenvolvimento e manterem-se saudáveis (ARAÚJO, 2019). Em animais de produção, a nutrição é o principal custo do setor, correspondendo a cerca de 70% a 80% dos custos totais de produção, principalmente em sistemas de criação intensivos (GOES; SILVA; SOUZA, 2013).

A produção de ruminantes possui a vantagem de poder utilizar alimentos ricos em fibra como fonte de nutrientes, graças à microflora ruminal, reduzindo o custo da alimentação. A microflora ruminal consegue degradar carboidratos estruturais e não estruturais dos alimentos através da fermentação, produzindo ácidos graxos voláteis que serão absorvidos e utilizados como fonte de energia pelo animal, e fornece proteína de qualidade para o animal mesmo este ingerindo fontes de nitrogênio não proteico, a partir da síntese de proteína bacteriana (KOZLOSKI, 2016), reduzindo assim o custo com a alimentação. Porém, buscando maior eficiência, principalmente em animais em terminação ou em vacas leiteiras, é necessário realizar a criação de forma mais intensiva, fornecendo uma dieta mais densa e consequentemente mais cara.

Com isso, busca-se uma alternativa para reduzir os custos com a alimentação de animais criados em sistemas intensivos. Uma das alternativas é a utilização de coprodutos de indústrias na nutrição dos animais, como bagaço de cana-de-açúcar, leveduras (indústria açucareira), polpa cítrica, resíduos de frutas (indústria frutífera), caroço de algodão (indústria algodoeira), entre outros (FERREIRA; URBANO, 2013).

Uma das indústrias que está ganhando destaque, são as responsáveis pela produção de biocombustíveis, por conta da maior preocupação mundial com o meio ambiente (ABDALLA *et al.*, 2008). Dentre elas está a indústria do etanol, existindo uma gama de matéria prima que pode ser utilizada para sua fabricação. O milho (*Zea mays L.*) pode ser utilizado na fabricação deste biocombustível, e quando utilizado para este fim forma subprodutos que podem ser utilizados na alimentação animal, sendo eles o grão seco de destilaria (DDG), grão úmido de destilaria (WDG), grão seco de destilaria com solúveis (DDGS) e grão úmido de destilaria com solúveis (WDGS).

Com isso, o presente trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica sobre a utilização dos grãos de destilaria na alimentação de ruminantes, visando suas vantagens e desvantagens, níveis de inclusão, armazenamento, custo e desempenho dos animais.

■ PRODUÇÃO DE ETANOL DE MILHO E RESÍDUOS DA DESTILARIA

Os biocombustíveis apresentam-se como uma boa alternativa para a substituição de combustíveis fósseis, em especial o etanol tem se mostrado o biocombustível mais vantajoso em curto prazo para esta substituição (MANOCHIO *et al.*, 2017). No Brasil, a produção de etanol é basicamente a partir da cana-de-açúcar, porém, o milho (*Zea mays L.*) é uma outra alternativa de matéria prima, o qual, possui a terceira maior produção e a segunda maior área de cultivo entre as culturas de grãos no Brasil, apresentando expansão dessas áreas anualmente (CONAB, 2020), o que indica elevado potencial para a produção de etanol a partir dessa cultura. Além disso, a utilização do milho para produzir etanol auxiliaria na redução do período ocioso das destilarias, reduzindo consequentemente a oscilação do preço do biocombustível durante o ano (SOBRINHO, 2012).

Uma gama de culturas pode ser utilizada para a produção de etanol, estas podem ser divididas em 3 categorias conforme o tipo de carboidrato que a cultura fornece para a formação do álcool. A primeira categoria é a das culturas que fornecem sacarose, portanto são chamadas de sacarinas, e são elas a cana-de-açúcar, beterraba, sorgo sacarino (colmo) entre outras. Outra é a categoria dos amiláceos, pois a produção é a partir do amido, temos a mandioca, o milho, o sorgo (grãos), batata entre outros. Por fim, a categoria das matérias primas celulósicas, a qual a celulose é a responsável pela produção de etanol, dentre as culturas temos o eucalipto, marmeleiro, serragem, casca de arroz, bagaço de cana entre outras (MACEDO, 1993 citado por OLIVEIRA; SERRA; OLIVEIRA, 2014).

Culturas sacarinas, como a cana-de-açúcar e beterraba apresentam-se mais vantajosas em relação ao milho na fase industrial, por necessitarem de menos processamento para a extração do açúcar que será utilizado para a produção do etanol. Porém, a matéria prima a base de amido apresenta maior rendimento comparado as outras, o que coloca o milho como a principal biomassa produtora de etanol atualmente (MANOCHIO *et al.*, 2017). Além disso, a produtividade elevada do milho, juntamente com a aplicação de tecnologias avançadas já presentes para a cultura e redução nos custos de produção impulsiona o milho para ser uma matéria prima expressiva na produção de etanol no Brasil (ROSSETO *et al.*, 2017).

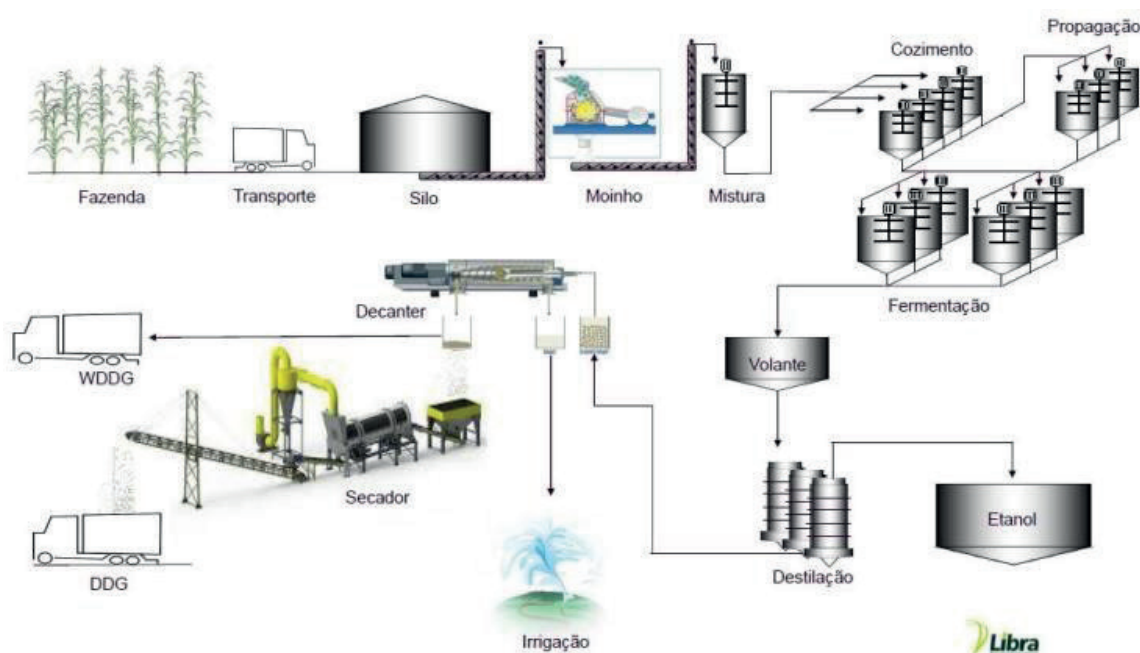
A fabricação deste biocombustível pode ser a partir de duas vias, a via úmida, onde é feito o tratamento do grão do milho com água e ácido sulfúrico antes da moagem. Fracionando a semente de milho em componentes primários – amido, gérmen e fibra. E a via seca, onde os grãos são moídos a pó e então é adicionada água e enzimas para remoção do amido, o qual será a matéria prima para a fermentação que produzirá o álcool (KINDBERG, 2010). A via seca consiste principalmente por seis etapas: moagem, cozimento, liquefação, sacarificação, fermentação e separação. Durante o processo da fermentação é feita a adição da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, a qual faz a quebra das ligações glicosídicas do amido, liberando a glicose que será transformada em etanol. Este produto é destilado e é feita a separação da parte líquida da sólida, nesta fase é produzido o *liquid distillers grain* ou xarope – o qual

pode ser utilizado na nutrição animal na forma líquida ou é reincorporado aos grãos de destilaria retirados da decantação/centrifugação. No fim do processo, é obtido o etanol, CO₂ e os grãos de destilaria (KINDBERG, 2010; ALVES *et al.*, 2012; MAYS BIORREFINARIAS, 2020).

É a partir da produção a seco que são obtidos os subprodutos, DDG e WDG, os quais apresentam bom potencial para a utilização na nutrição animal, especialmente para ruminantes (BARRÁGAN *et al.*, 2008) por apresentar alto valor nutricional e baixa variabilidade em sua composição comparado a outros coprodutos (ROBINSON; KARGES; GIBSON, 2008). O valor nutricional elevado deve-se pela retirada completa do amido do grão de milho, o que corresponde a cerca de 2/3 do grão, aumentando cerca de 3 vezes os níveis de proteína, extrato etéreo, fibra e fósforo (KLOPFENSTEIN; ERICKSON; BREMER, 1978).

A fabricação a seco corresponde a 70% da forma de produção do etanol (Figura 1). Ao chegar na indústria o milho é moído e misturado com enzimas e água para possibilitar a quebra do amido. Passada a primeira etapa, a mistura vai para o cozimento possibilitando a ação das enzimas com temperatura de 82 a 86 °C. O próximo processo é a propagação onde é preparado o fermento para receber o mosto de milho já cozido, nessa etapa é adicionado vários ingredientes como uréia, bactericidas, e levedura (SANTOS, 2019). Durante a fermentação, é adicionada a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, ocorrendo a quebra da glicose, produção de etanol e liberação de dióxido de carbono (CO₂). Por fim, ocorre a destilação e a separação dos resíduos leves e pesados. O resíduo leve passa por evaporação, produzindo o xarope com 50% de umidade. E o pesado proveniente da centrifugação, dando origem aos Wet Distillers Grains (WDG) (WERLE, 2017).

Figura 1. Fluxograma de produção de etanol a partir de cereais. (Usina Libra).



Conforme apresentado por TJARDES e WRIGHT (2002), ambos os subprodutos (DDG e WDG) possuem uma composição similar em termos de nutrientes, a maior diferença está

na matéria seca (MS), onde o DDG apresenta cerca de 88 – 90% de MS, por passar por um processo de secagem, enquanto o WDG apresenta cerca de 25 – 35% de MS.

UTILIZAÇÃO DE DDG E WDG COMO FONTE DE PROTEÍNA PARA RUMINANTES

Os grãos de destilaria já são utilizados na alimentação animal de forma consistente nos Estados Unidos, pois além de ser um grande produtor de etanol, a principal matéria prima utilizada para produção do etanol norte americano é o milho, diferentemente do Brasil que utiliza a cana-de-açúcar (LEITE; LEAL, 2007). No Brasil, o etanol de milho começou a ser produzido apenas em 2012 no Mato Grosso e desde então vem sendo estudado e utilizado na alimentação animal (ROSSETO *et al.*, 2017).

Ambos os produtos apresentam um elevado teor de proteína quando comparados ao milho, ficando entre 25% – 35% (Tabela 1). Por conta desse aumento no teor de proteína após a retirada do amido estes subprodutos são predominantemente utilizados como fonte de proteína na dieta (KLOPFENSTEIN; ERICKSON; BREMER, 1978). Porém, é importante ressaltar que como são subprodutos pode haver variação nas suas composições, podendo variar de acordo com o processamento industrial e conforme a planta de milho utilizada.

Tabela 1. Concentração de nutrientes dos grãos de destilaria com base na matéria seca.

Composição	DDG	WDG
Matéria seca (%)	88 – 90	25 – 35
Proteína Bruta (%)	25 – 35	30 – 35
Proteína degradável (% da PB)	40 – 50	45 – 53
Extrato Etéreo (%)	8 – 10	8 – 12
Fibra em detergente neutro (%)	40 – 44	30 – 50
Nutrientes digestíveis totais (%)	77 – 88	70 – 110
Energia líquida para manutenção (Mcal/lb)	0,89 – 1,00	0,90 – 1,10
Energia líquida para ganho (Mcal/lb)	0,67 – 0,70	0,70 – 0,80
Cálcio (%)	0,11 – 0,20	0,02 – 0,03
Fósforo (%)	0,41 – 0,80	0,5 – 0,8

Fonte: Adaptado de Tjardes e Wright, 2002.

No grão de milho o endosperma é a estrutura que apresenta maior teor de proteína, é nele que estão as proteínas de reserva do tipo prolaminas, chamadas zeínas (PAES, 2006). Estas proteínas são pouco influenciadas pela degradação ruminal, cerca de 40% desse tipo de proteína é utilizada pelos microrganismos para a síntese de proteína microbiana, aumentando assim o teor de proteína não degradável no rúmen – PNDR (MCDONALD, 1954; ROMAGNOLO; POLAN; BARBEAU, 1994).

Há uma variação entre o perfil de aminoácidos dos grãos de destilaria, entre todos a lisina é o aminoácido mais variável, apresentando um coeficiente de variação médio de

17,3%, variando de 2,9% a 25,7% no DDG segundo SPIEHS, WHITNEY e SCHURSON (2002). Conforme o NRC (2001), os grãos secos de destilaria apresentam cerca de 2,98% da proteína bruta. Porém, além da alta variação, a digestibilidade da lisina também é comprometida, podendo ser reduzida de 86,0 para 32,4% por conta do tratamento térmico que o DDG é submetido para a secagem (BOUCHER *et al.*, 2009). Há trabalhos que mostram uma correlação entre a coloração do DDG com o teor de lisina, em que quanto mais escuro for a coloração do DDG menor o teor deste aminoácido, portanto é recomendável que os grãos de destilaria sejam mais claros uma vez que a lisina juntamente com a metionina, são os principais aminoácidos limitantes para a produção de leite (ACHARYA *et al.*, 2015; PAZ; KONONOFF, 2014; NRC, 2001). O WDG por não passar pelo tratamento térmico da secagem possui melhores níveis de lisina digestível na proteína do alimento.

A proteína bruta dos alimentos pode ser classificada em dois grandes grupos, as proteínas degradáveis no rúmen (PDR) e as proteínas não degradáveis no rúmen (PNDR) (SANTOS *et al.*, 1998). Os microrganismos do rúmen geram a partir da PDR peptídeos, aminoácidos e amônia que serão utilizados por toda flora ruminal para a síntese de proteína microbiana (SCHWAB E BRODERICK, 2017). Em bovinos de corte a falta de PDR na dieta pode acarretar em menor eficiência dos animais, limitação do crescimento em categorias mais jovens e menor desempenho, uma vez que essa fração é a responsável pela proteína microbiana, a qual é a principal responsável pelo aporte de aminoácidos essenciais e não-essenciais no intestino delgado. Por este mesmo motivo, em bovinos de leite a PDR está diretamente ligada a produção e qualidade do leite, pois com redução da proteína microbiana há menos oferta de aminoácidos para atender as exigências, para formação da proteína do leite e redução da degradação microbiana que reduz a gordura do leite por diminuir a produção de acetato no rúmen (SCHWAB E BRODERICK, 2017).

A PNDR é a fração que não sofre ação dos microrganismos ruminais, passando para ser absorvida na sua forma original no intestino delgado. A utilização dessa fração proteica na dieta de ruminantes é interessante quando feita de forma estratégica, sendo uma fonte de proteína importante para conseguir atender as exigências de categorias que demandam maior aporte de proteína, para suprir uma possível limitação imposta pela falta de proteína microbiana (SCHWAB E BRODERICK, 2017).

UTILIZAÇÃO DE DDG E WDG COMO FONTE DE ENERGIA PARA RUMINANTES

Os grãos secos de destilaria e úmidos são comumente usados como fonte de proteína por apresentar alto teor desse nutriente e ainda grande parte dessa proteína não sofre ação da flora ruminal (Tabela 1). Porém, tanto o DDG quanto o WDG podem ser utilizados como

fonte de energia na dieta de ruminantes, uma vez que, segundo NRC (2000), os grãos de destilaria possuem valores de energia equivalentes ao do milho, com possibilidade de superar o milho no teor de energia segundo alguns autores (HAM ET AL., 1994; BUCKNER ET AL., 2008; LOY ET AL., 2008).

Estes valores são explicados pelos autores, por conta do teor de fibra digestível e pelo aumento da concentração de gordura nesses coprodutos (SCHINGOETHE *et al.*, 2009). De acordo com o NRC (2000), o DDG apresenta 46% de fibra em detergente neutro (FDN) e 10,3% de extrato etéreo (EE), enquanto o milho possui apenas 9% de FDN e 4,3% de extrato etéreo, porém é importante salientar que parte dessa gordura é protegida da ação dos microrganismos do rúmen (KLOPFENSTEIN; ERICKSON; BREMER, 2008). Com essa alteração dos substratos para os microrganismos no rúmen, a utilização de grãos de destilaria pode modificar o pH ruminal. LEUPP *et al.* (2009), em um estudo utilizando inclusão de 0 até 60% de DDG na dieta, averiguou que ocorre um aumento linear no pH ruminal de novilhos conforme aumenta a inclusão de DDG em substituição ao milho floculado na dieta.

Com isso, os coprodutos da indústria do etanol podem ser utilizados também como fonte de energia para ruminantes, e apresentar resultados positivos como, redução nos casos de acidose ruminal por conta do baixo teor de amido e aumentar a eficiência alimentar de bovinos confinados (HAM *et al.*, 1994).

■ UTILIZAÇÃO DOS GRÃOS DE DESTILARIA NA ALIMENTAÇÃO DE VACAS LEITEIRAS

Os grãos de destilaria secos ou úmidos podem ser utilizados para substituir uma parte do milho e farelo de soja da dieta de vacas leiteiras, Segundo ANDERSON *et al.* (2006), vacas alimentadas com os grãos de destilaria secos e úmidos (0%, 10% e 20% da matéria seca da dieta) substituindo parcialmente o milho e o farelo de soja, apresentaram maior eficiência alimentar, maior produção de leite e maior produção dos componentes do leite, sem alterar a concentração desses componentes. Entre os tratamentos 10 e 20% não houve diferença significativa. Conforme o mesmo autor, ao comparar o WDG e o DDG, os animais que foram alimentados com WDG apresentaram maior teor de gordura, proteína e nitrogênio ureico no leite (NUL), podendo explicar o aumento de proteína e NUL pela maior quantidade de PNDR dos grãos de destilaria. Sendo assim, DDG e WDG podem ser utilizados em substituição parcial ao milho e farelo de soja. As vacas alimentadas com WDG aumentaram o teor de sólidos totais quando comparadas às alimentadas com DDG.

Em outro estudo fazendo a substituição integral do farelo de soja pelo WDG, em vacas consumindo silagem de milho *ad libitum*, 3,2kg de feno de alfafa e um mix com milho, aveia e farelo de soja para dieta controle e WDG para dieta experimental não apresentaram

diferença nos sólidos do leite e no consumo de matéria seca porém as variáveis ácidos graxos voláteis, pH e amônia ruminal foram similares, mostrando que o WDG pode ser uma alternativa para a substituição do farelo de soja na dieta de vacas leiteiras (SCHINGOETHE; CLARK; VOLKER, 1983). Não apresentando diferença na produção, composição do leite e consumo das vacas, é necessário realizar uma análise de custo dos dois ingredientes para a tomada de decisão.

ZANTON, HEINRICH e JONES (2013), em um estudo utilizando grãos de destilaria em diferentes níveis de inclusão e com alto e baixo teor de PNDR na dieta de vacas em lactação, com até 20% de DDG na composição do concentrado e silagem de milho como fonte de volumoso, relataram que o peso corporal e o CMS dos animais não foram influenciados pela inclusão do DDG na dieta. Referente a composição e produção do leite observou-se uma queda no teor de gordura do leite conforme aumentou a inclusão do coproduto e houve uma tendência a uma menor produção, sendo explicado pela limitação de lisina na dieta e pelos altos níveis de PNDR. TRESTOET *et al.* (2014; 2016) apresentaram resultado semelhante, utilizando 10% do concentrado com grãos de destilaria seco reduziu a gordura do leite e queda na produção com inclusão de 25%.

Com isso, observa-se que é necessário tomar devidos cuidados com a utilização dos grãos de destilaria na dieta de vacas leiteiras, para que não ocorra a falta de lisina, aminoácido limitante para a produção de leite (NRC, 2001), utilizando ingredientes que sejam capazes de reiterar esse aminoácido na dieta e atentar para que os níveis de PDR e PNDR que é fundamental para garantir e otimizar a produção de proteína microbiana, manter uma flora saudável e suprir as exigências dos animais (BERCHIELLI; PIRES; OLIVEIRA, 2011).

Ainda, é importante considerar a fermentabilidade da dieta e o nível de produção e gordura de leite das vacas. Pois, HOLLMANN *et al.* (2011), relatou através de um estudo meta-analítico que a inclusão de grãos de destilaria na dieta está relacionada com uma resposta negativa a gordura do leite, quando esta for maior que 3,6%. No mesmo estudo, foi observado que a variável produção de leite recebe influência da fermentabilidade da dieta, uma vez que muita ou pouca silagem de milho ou amido na dieta está relacionada a uma diminuição na resposta da produção de leite aos grãos de destilaria (HOLLMANN *et al.*, 2011). Ademais, segundo mesmo autor, os grãos de destilaria exercem maior influência na gordura do leite e no consumo de matéria seca em vacas de baixa produção e na produção de leite em vacas de alta produção.

Referente aos minerais, o DDG possui cerca de 0,17% a 0,26% e 0,78% a 1,08% de cálcio e fósforo, respectivamente. Portanto, conforme a fonte de volumoso ou dos demais ingredientes da dieta deve-se atentar para distúrbios metabólicos principalmente se utilizados

na alimentação de vacas em transição, por conta da alta concentração desses minerais (SCHINGOETHE; KALSCHEUR; GARCIA, 2006; LIU, 2011).

■ UTILIZAÇÃO DOS GRÃOS DE DESTILARIA NA ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS CONFINADOS

O DDG pode ser utilizado na dieta de bovinos confinados em terminação, principalmente por apresentar-se como uma boa fonte de proteína e energia para esses animais (LARDY; ANDERSON, 2014) e por ajudar a controlar casos de acidose (HAM *et al.*, 1994). Em um estudo com bovinos em terminação, testando a substituição do farelo de soja pelo DDG, observou-se que o consumo e a digestibilidade da matéria seca (MS) não foram influenciados com a substituição total do farelo de soja pelo DDG, porém houve diferença estatística linear do consumo e digestibilidade da proteína bruta, conforme aumentou a inclusão do DDG na dieta resultando em menor ganho de carcaça. Economicamente o DDG apresentou-se vantajoso em relação ao farelo de soja pelo menor custo da MS, sendo a substituição total a mais vantajosa financeiramente (RUFINO JUNIOR, 2017).

HOFFMANN (2019), ao realizar um estudo com bovinos em sistema de terminação em confinamento, afirma que o DDG pode substituir o farelo de soja nesse sistema. Avaliando a substituição em 0%, 50% e 100% do farelo de algodão, o autor afirma que este ingrediente pode ser substituído pelo DDG sem influenciar no desempenho dos animais. Portanto, nesse caso é bom considerar os benefícios econômicos dessas substituições.

Os grãos de destilaria são uma ótima fonte de proteína, e pode ser uma alternativa viável financeiramente na substituição de outros ingredientes proteicos. Porém, segundo KLOPFENSTEIN, ERICKSON e BREMER (2008) esses coprodutos podem ser facilmente utilizados em substituição ao milho (fonte de energia) em dietas de confinamentos, havendo maior oferta destes no mercado com o aumento da produção, uma vez que, estes mesmo autores confirmaram através de uma meta-análise que os grãos de destilaria possuem valor de alimentação maior que o milho laminado a seco, além disso WDG pode ser utilizado junto com volumosos de baixa qualidade, atribuindo palatabilidade e condicionamento a dieta.

Em um estudo com bovinos em terminação, foi comparado a utilização de WDG e DDG com inclusão de 40% da MS da dieta em substituição ao milho laminado a seco. Os animais alimentados com os resíduos de destilaria apresentaram maior ganho, peso e maior eficiência alimentar comparado ao grupo controle – milho laminado a seco. Além disso, apesar da semelhança entre os dados, os animais alimentados com resíduo úmido consumiram menos e possuíram maior eficiência ao comparar com o DDG (HAM *et al.*, 1994). Apesar de 40% de inclusão apresentar melhora no desempenho dos animais sem apresentar efeitos negativos,

BUCKNER *et al.* (2008) testando níveis de inclusão de 10 a 40% da MS resíduo seco de destilaria, concluiu que a 20% de inclusão apresentou o máximo desempenho dos animais.

Ainda, em um estudo analisando 7 experimentos de bovinos confinados com a utilização de DDG, com vinte e oito tratamentos e totalizando 348 animais. GRIFFINS *et al.* (2012), a partir desses estudos, concluiu que o aumento da suplementação com DDG em confinamento aumentou o peso final dos animais, o ganho médio diário e o consumo de matéria seca (GRIFFINS, *et al.* 2012).

NIEHUES (2019), avaliou diferentes níveis inclusão de WDG (0 – 15 – 30 – 40%) em substituição ao milho e ao farelo de soja da dieta de 100 tourinhos F1 Nelore x Angus confinados. A ingestão de matéria seca tendeu a ser quadrática com aumento da inclusão de WDG, onde o maior consumo ocorreu com 15% de inclusão superando o grupo controle. O qual, não está de acordo com o estudo meta-analítico realizado por KLOPFENSTEIN *et al.* (2008), que também obtiveram respostas quadráticas para a IMS, porém maximizada com 30% de inclusão de WDG. O peso corporal encontrado por ambos os autores tendeu a ser quadrático com o aumento da inclusão de WDG, onde os animais submetidos a dietas com 30% de inclusão apresentaram maior peso final. Ademais, a substituição do milho por WDG tendeu a aumentar o ganho médio diário (KLOPFENSTEIN *et al.* 2008; NIEHUES, 2019).

Além dos benefícios financeiros e atribuídos ao desempenho de animais, a utilização dos grãos de destilaria apresenta benefícios ambientais. Segundo BREMER *et al.* (2011), estes coprodutos apresentam valor alimentar superior ao milho laminado a seco quando utilizada a inclusão de 20 a 40% da dieta com base na MS. Além disso, o WDG e o DDG reduzem a emissão dos gases de efeito estufa em 61 a 57% e 46 a 41% em dietas de confinamento com inclusão de 20 a 40% da dieta. Dessa forma, afirmou-se que a utilização do WDG em dietas de confinamento foi o ingrediente que melhor apresentou vantagens com base no desempenho alimentar e na questão ambiental. Visto que é um coproduto da fabricação do etanol que tende a reduzir gases de efeito estufa quando comparado aos combustíveis fósseis (BREMER *et al.* 2011).

Portanto, a utilização dos grãos de destilaria é uma alternativa como fonte de proteína e energia na dieta de bovinos confinados, podendo resultar em melhora no desempenho dos animais com maior eficiência alimentar, pode-se reduzir os casos de acidose, reduzir a emissão dos gases de efeito estufa e pode trazer benefícios financeiros conforme a oscilação dos preços dos demais insumos.

UTILIZAÇÃO DOS GRÃOS DE DESTILARIA NA SUPLEMENTAÇÃO DE BOVINOS A PASTO

O sistema de produção extensivo é o preferível por ser menos oneroso que o sistema intensivo, o qual possibilita abate precoce e maior giro de capital que sistemas a pasto, porém o custo com mão-de-obra, instalações e nutrição elevam muito o custo de produção deste sistema (LOPES; MAGALHÃES, 2005). Por outro lado, nem sempre a pastagem consegue suprir as exigências nutricionais dos bovinos em pastejo, sendo necessária a suplementação. Por apresentar alto teor de proteína e minerais (Tabela 1), os grãos de destilaria apresentam potencial para a utilização como suplementação.

WAHRMUND e HERSON (2009), em um estudo com bovinos sob pastejo de *Paspalum notatum* utilizaram 4 suplementações isoenergéticas: apenas casca de soja (3,12 Kg de MS/dia); casca de soja (2,05 Kg de MS/dia) e DDG (0,96 Kg de MS/dia); DDG (1,93 Kg de MS/dia) e casca de soja (0,98 Kg de MS/dia) e somente DDG (3,12 kg de MS/dia). O ganho médio diário (GMD) foi afetado pelos tratamentos, a casca de soja isolada apresentou o menor GMD, comparado a mistura desta com o DDG, e este apresentou diferença apenas em relação a casca de soja. As concentrações séricas de glicose não foram influenciadas pelos tratamentos, mas o nitrogênio ureico no plasma (NUP) apresentou diferença, onde animais suplementados com casca de soja apresentaram níveis séricos baixos de NUP (5,86mg/dL), valor abaixo do recomendado por HAMMOND (1998) que afirma ser prejudicial valores abaixo de 7mg/dL. As misturas de casca de soja (2,05 Kg de MS/dia) e DDG (0,96 Kg de MS/dia) e DDG (1,93 Kg de MS/dia) com casca de soja (0,98 Kg de MS/dia) apresentaram níveis de NUP maior que somente a casca de soja (10,24 e 11,86, respectivamente) e o DDG sozinho apresentou o maior valor entre os tratamentos (12,53), mas sem exceder o recomendado por GONZÁLEZ (2000) de até 15mg/dL.

FERRARI (2019) afirmou que os parâmetros ruminais não diferiram ao utilizar suplementação energética a base de milho ou suplementos múltiplos com farelo de soja e DDG em animais sob pastejo com forragens de alta qualidade (alta proteína solúvel). Além disso a suplementação proteico-energética (SPE) com DDG, reduziu a excreção de nitrogênio pela urina e apresentou menor produção de metano se comparado a SPE com milho e farelo de soja. Por fim, concluiu-se que a SPE com milho e DDG pode substituir a SPE de milho com farelo de soja sem efeitos negativos, em animais sob pastagens de boa qualidade.

Os grãos secos de destilaria também podem ser utilizados como suplemento proteico em substituição ao farelo de algodão. LEITE (2018), em um estudo com bovinos sob pastejo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, na fase de recria, relata que a utilização de suplementação proteico energética de 0,3% do peso vivo, com farelo de algodão e/ou DDG mais milho, aumenta o consumo de matéria seca e dos nutrientes, sem alterar a digestibilidade ou

parâmetros ruminais. Ainda, utilização do DDG em substituição ao farelo de algodão nesse nível de suplementação, reduziu o linearmente teor de N- amoniacal do rúmen, sem alterar nenhuma outra variável (LEITE, 2018). Em outro estudo, fazendo a substituição do farelo de algodão por DDG, HOFFMANN (2019) relata que o DDG pode substituir em 100% a fonte proteica de animais em pastejo com suplementação de 0,3% do peso corporal.

Analizando 13 experimentos de bovinos de corte, totalizando 442 bois e novilhas em pastejo suplementados com DDG, GRIFFIN *et al.* (2012), utilizando modelos mistos avalia o ganho médio diário e a ingestão de forragem com diferentes níveis de inclusão do DDG. A partir disso, conclui-se que o peso corporal final dos bovinos aumentou linearmente e tendeu a aumentar quadraticamente conforme aumento a inclusão de DDG na dieta, porém o consumo de forragem diminuiu quadraticamente com o aumento da suplementação com DDG. Portanto, os grãos secos de destilaria podem substituir algumas forragens em dietas baseadas em forragem com bovinos em crescimento (GRIFFIN, *et al.*, 2012).

■ ARMAZENAMENTO DO WDG

O teor de umidade do WDG (65 - 75%) proporciona algumas dificuldades com seu armazenamento, pois apresenta maior potencial de deterioração se comparado com o DDG, o qual possui baixa umidade (10 -12%). Os cuidados com o WDG devem começar na indústria do etanol, onde é armazenado temporariamente até a entrega na fazenda. O local onde é alocado o WDG recentemente produzido deve ser limpo e protegido de intempéries climáticas e livre de pássaros, roedores ou qualquer outro animal que possa vir contaminar o produto com suas excretas. As áreas externas do WDG comumente formam mofo por conta da umidade, portanto este deve ser removido completamente antes de ser oferecido. O WDG deve ser protegido da chuva durante o armazenamento temporário na indústria e no transporte para a fazenda, uma vez que aumentando muito o teor de umidade ocorre a perda de nutrientes por lixiviação, prejudicando a qualidade do produto e causando impacto ambiental negativo, principalmente pela grande quantidade de fosforo (GARCIA; KALSCHEUR, 2007).

Na propriedade o tempo de utilização do WDG determina o tipo de armazenamento, se toda a carga for utilizada em até uma semana o produto pode ser armazenado em uma pilha sobre um piso firme e plano, sem contato com o solo para que não haja contaminação do solo e do coproduto, além disso deve ser coberto com uma lona quando não estiver sendo utilizado, com a finalidade de evitar efeito do ambiente como chuvas e roedores. Caso o produto demore a ser utilizado recomenda-se a ensilagem que pode ser sozinho ou com outros alimentos, pois o contato com o ar por um período longo de tempo causa mofo na superfície resultando em contaminação e perdas na matéria orgânica. A ensilagem pode ser feita em silos do tipo bunker ou em silo bag. O processo de ensilagem é benéfico

pois evita a deterioração causada em ambiente aeróbico e mantém o produto com qualidade por maior tempo, uma vez que o pH do WDG é originalmente baixo, 3 – 4 (GARCIA; KALSCHEUR, 2007).

■ CONCLUSÕES

Os grãos de destilaria podem ser uma boa fonte de proteína e PNDR para bovinos em sistema extensivo ou intensivo. Estes coprodutos podem ser utilizados também como fonte de energia contribuindo para redução dos casos de acidose e aumentando a eficiência dos bovinos. A utilização na nutrição de vacas leiteiras apresentou resultados semelhantes e positivos em substituição ao farelo de soja, porém deve-se atentar para o teor de lisina. O nível de produção de leite e gordura exerce influência nas respostas dos grãos de destilaria no desempenho de vacas leiteiras. Pode ser utilizado em até 40% de inclusão na matéria seca na alimentação de bovinos de corte, mas o máximo desempenho pode ser atingido com uma inclusão menor. A utilização dos grãos de destilaria secos e úmidos promove redução na emissão de gases de efeito estufa com inclusão de 20 a 40% da MS. Os grãos de destilaria podem ser utilizados como suplemento proteico-energético para animais em sistema extensivo, substituindo o milho e o farelo de soja sem efeitos negativos. Economicamente a utilização de resíduos de indústrias pode ser favorável conforme a oscilação dos preços dos grãos e distancia de transporte.

■ REFERÊNCIAS

1. ABDALLA, A.L.; SILVA FILHO, J.C.; GODOI, A. R.; CARMO, C.A.; EDUARDO, J.L.P. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 260-268, abr. 2008.
2. ABIEC. **Beef Report**: perfil da pecuária no brasil. São Paulo: Abiec, 2019.
3. ACHARYA, I. P.; SCHINGOETHE, D. J.; KALSCHEUR, K. F.; CASPER, D. P.. Response of lactating dairy cows to dietary protein from canola meal or distillers' grains on dry matter intake, milk production, milk composition, and amino acid status. **Canadian Journal Of Animal Science**, South Dakota, v. 95, n. 2, p. 267-279, jun. 2015. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.4141/cjas-2014-130>.
4. ALVES, J.O.; ZHUO, C.; LEVENDIS, Y.A.; TENÓRIO, J.A.S. SÍNTESE DE NANOMATERIAIS DE CARBONO A PARTIR DO RESÍDUO DE MILHO (DDGS). **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 8, p. 1534-1537, 2012.
5. ANDERSON, J.L.; SCHINGOETHE, D.J.; KALSCHEUR, K.F.; HIPPEN, A.R.. Evaluation of Dried and Wet Distillers Grains Included at Two Concentrations in the Diets of Lactating Dairy Cows. **Journal Of Dairy Science**, South Dakota, v. 89, n. 8, p. 3133-3142, ago. 2006. American Dairy Science Association. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72587-5](http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72587-5).

6. ARAÚJO, Lúcio Francelino. *Nutrição animal*. São Paulo: Editora Manole, 2019. <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520463505/>. Acesso em: 17 Nov 2020.
7. BARRAGÁN, R. J. L.; MARTÍN, DEL C. M.; CARINA, M.; PEÑA, A. L. C.; ROBLES, O. J. P.; PATRICIO, S. M.J.; PLASENCIA, C.; HERNÁNDEZ, G. J.; DE LUCAS, P. E. R.; VELÁZQUEZ, W. P. Utilización de granos secos de destileria con solubles (ddgs) en la alimentación animal. Avances en la investigación científicas en el CUCBA, 2008.
8. BOUCHER, S.e.; CALSAMIGLIA, S.; PARSONS, C.M.; STERN, M.D.; MORENO, M. Ruiz; VÁZQUEZ-ANÓN, M.; SCHWAB, C.G.. In vitro digestibility of individual amino acids in rumen-undegraded protein: the modified three-step procedure and the immobilized digestive enzyme assay. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 92, n. 8, p. 3939-3950, ago. 2009. American Dairy Science Association. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2008-1992>.
9. BR-CORTE. **Tabela resumida**. 2021. Disponível em: <https://brcorte.com.br/tabela-resumida>. Acesso em: 22 maio 2021.
10. BREMER, V.R.; WATSON, A.K.; LISKA, A.J.; ERICKSON, G.e.; CASSMAN, K.G.; HANFORD, K.J.; KLOPFENSTEIN, T.J.. Effect of distillers grains moisture and inclusion level in livestock diets on greenhouse gas emissions in the corn-ethanol- livestock life cycle¹. **The Professional Animal Scientist**, Nebraska, v. 27, n. 5, p. 449- 455, out. 2011. American Registry of Professional Animal Scientists. [http://dx.doi.org/10.15232/s1080-7446\(15\)30517-9](http://dx.doi.org/10.15232/s1080-7446(15)30517-9).
11. BUCKNER, C.D.; MADER, T.L.; ERICKSON, G.e.; COLGAN, S.L.; MARK, D.R.;
12. KARGES, K.K.; GIBSON, M.L.; BREMER, V.R.. Evaluation of Dry Distillers Grains Plus Solubles Inclusion on Performance and Economics of Finishing Beef Steers¹. **The Professional Animal Scientist**, [S.L.], v. 24, n. 5, p. 404-410, out. 2008. American Registry of Professional Animal Scientists. [http://dx.doi.org/10.15232/s1080-7446\(15\)30884-6](http://dx.doi.org/10.15232/s1080-7446(15)30884-6).
13. CONAB. **Acompanhamento da Safra**: grãos. Brasília: Sumac; Gepin, 2020.
14. FERRARI, Adriana Cristina. **Aportes nutricionais na recria a pasto e sistema na terminação de tourinho nelore: metabolismo, desempenho e qualidade da carne**. 2019. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2019.
15. FERREIRA, M.A.; URBANO, S.A.. Novas Tecnologias para Alimentação de Bovinos Leiteiros na Seca. **Revista Científica de Produção Animal**, Recife, v. 15, n. 1, p. 42-52, 30 jun. 2013. Revista Científica de Producao Animal. <http://dx.doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v15n1p42-52>.
16. FREITAS, T. B. **Coprodutos da indústria de biocombustíveis em dietas para ruminantes**. 2016. 118 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Programa de Pós- Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2016. Disponível em: http://www2.uesb.br/ppg/ppz/wp-content/uploads/2017/07/Tese-Tiago-B.-Freitas-_-Portugues-corrigido.pdf. Acesso em: 11 jan. 2020.
17. GARCIA, A.; KALSCHEUR, K. Storage of Wet Distillers Grains. In: TRI-STATE DAIRY NUTRITION CONFERENCE, 3., 2007, Dakota do Sul. **Anais**. South Dakota: South Dakota State University, 2007. p. 111-118. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.566.1714&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 02 dez. 2020.

18. GOES, R. H. T. B.; SILVA, L. H. X.; SOUZA, K. A. **Alimentos e alimentos animal**. Dourados: UFGD, 2013. 79 p. Disponível em: http://nbcgib.uesc.br/ppgca/files/docentes_processo_seletivo/alimentos_e_alimentacao_animal.pdf. Acesso em: 05 dez. 2020.
19. GONZÁLEZ, F. H. D.. Uso do perfil metabólico para determinar o status nutricional em gado de corte. In: WITTEWER, F.; CONTRERAS, P. A.; GONZÁLEZ, F. H. D. **Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais**. Porto Alegre:
20. F.H.D. González, 2000. p. 1-106. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26687/000299715.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11 dez. 2020.
21. GRIFFIN, W.A.; BREMER, V.R.; KLOPFENSTEIN, T.J.; STALKER, L.A.; LOMAS, L.W.; MOYER, J.L.; ERICKSON, G.e.. A meta-analysis evaluation of supplementing dried distillers grains plus solubles to cattle consuming forage-based diets 1. **The Professional Animal Scientist**, Oxford, v. 28, n. 3, p. 306-312, jun. 2012. American Registry of Professional Animal Scientists. [http://dx.doi.org/10.15232/s1080-7446\(15\)30360-0](http://dx.doi.org/10.15232/s1080-7446(15)30360-0).
22. HAMMOND, A. C. Use of BUN and MUN as Guides for Protein and Energy Supplementation in Cattle. **Revista Corpoica**, Brooksville, v. 2, n. 2, p. 44-48, jun. 1998. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=ES2016300274>. Acesso em: 26 nov. 2020.
23. HOFFMANN, Alvaír. **Eficiência da substituição do farelo de algodão por DDGs na produção de bovinos de corte**. 2019. 98 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Unesp, Jaboticabal, 2019.
24. HOLLMANN, M.; ALLEN, M.s.; BEEDE, D.K.. Diet fermentability influences lactational performance responses to corn distillers grains: a meta-analysis. **Journal Of Dairy Science**, Illions, v. 94, n. 4, p. 2007-2021, abr. 2011. American Dairy Science Association. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2010-3711>.
25. IMEA. **Relatório de mercado**. 2021. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado>. Acesso em: 22 maio 2021.
26. KINDBERG, L. **An Introduction to Bioenergy: Feedstocks, Processes and Products**. Montana: Attra, 2010. Disponível em: <https://attra.ncat.org/product/an-introduction-to-bioenergy-feedstocks-processes-and-products/>. Acesso em: 03 jan. 2020.
27. KINDBERG, L. An introduction to bioenergy: feedstocks, processes and products. Natl. Sustain. Agric. Inf. Service, pp.1-12, 2010.
28. KLOPFENSTEIN, T. J.; ERICKSON, G. E.; BREMER, V. R.. BOARD-INVITED REVIEW: use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry1. **Journal Of Animal Science**, Minnesota, v. 86, n. 5, p. 1223-1231, 1 maio 2008. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2007-0550>.
29. KLOPFENSTEIN, T., J. WALLER, N. MERCHEN. PETERSEN, L. 1978. Distillers grains as a naturally protected protein for ruminants. Distillers Feed Conf. Proceed. 33:38–46.
30. KLOPFENSTEIN, T. J., ERICKSON, G. E., BREMER, V. R., 2008. BOARD-INVITED REVIEW: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *Journal of animal science*, 86(5):1223-1231.
31. KOZLOSKI, Gilberto Vilmar. **Bioquímica de Ruminantes**. Santa Maria: 2016.

32. LARDY, G.; ANDERSON, V. **Feeding Coproducts of the Ethanol Industry to Beef Cattle**. North Dakota: Ndsu, 2014. Disponível em: <https://www.ag.ndsu.edu/publications/livestock/feeding-coproducts-of-the-ethanol-industry-to-beef-cattle#:~:text=The%20ethanol%20industry%20in%20the,and%205%20percent%20to%20poultry>. Acesso em: 22 nov. 2020.
33. LEITE, R. C. C.; LEAL, Manoel Régis L. V.. O biocombustível no Brasil. **Novos Estudos - CE-BRAP**, São Paulo, n. 78, p. 15-21, jul. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-33002007000200003>.
34. LEUPP, J. L.; LARDY, G. P.; KARGES, K. K.; GIBSON, M. L.; CATON, J. S.. Effects of increasing level of corn distillers dried grains with solubles on intake, digestion, and ruminal fermentation in steers fed seventy percent concentrate diets¹. **Journal Of Animal Science**, Oxford, v. 87, n. 9, p. 2906-2912, 1 set. 2009. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2008-1712>.
35. LIU, K. Chemical Composition of Distillers Grains, a Review. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, Washington, v. 59, n. 5, p. 1508-1526, 9 mar. 2011. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf103512z>.
36. LOPES, M.A.; MAGALHÃES, G.P.. Análise da rentabilidade da terminação de bovinos de corte em condições de confinamento: um estudo de caso. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Lavras, v. 57, n. 3, p. 374-379, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-09352005000300016>.
37. MANOCHIO, C.; ANDRADE, B.R.; RODRIGUEZ, R.P.; MORAES, B.s.. Ethanol from biomass: a comparative overview. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 80, p. 743-755, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.063>.
38. MAYS BIORREFINARIA (Porto Alegre). **Gerando valor e reduzindo custo com LDG e WDG no confinamento**. 2020. Disponível em: https://mays.bio/gerando-valor-e-reduzindo-custo-com-ldg-e-wdg-no-confinamento/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=gerando-valor-e-reduzindo-custo-com-ldg-e-wdg-no-confinamento. Acesso em: 25 nov. 2020.
39. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 6th ed. Rev., Washington, D.C.: National Academy Press, 2000. 232p.
40. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. NRC. **Nutrient requeriments of dairy cattle**. 7. ed. Washington: NAS, 2001. 356 p.
41. NIEHUES, Maria Betânia. **Grãos de milho úmidos de destilaria na alimentação de bovinos mestiços F1 Angus-Nelore Confinados: Consumo, Comportamento Ingestivo e Saúde ruminal**. 2019. 81 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.
42. OLIVEIRA, L.M; SERRA, J.C.V; OLIVEIRA, K.B.M. Balanços energéticos da produção de etanol para diferentes matérias primas. In: GEOAMBIENTE ONLINE, 22., 2014, Jataí. **Anais [...]**. Jataí: Ufg, 2014. v. 22, p. 39-52.
43. OWEN, Foster G.; LARSON, Larry L.. Corn Distillers Dried Grains Versus Soybean Meal in Lactation Diets. **Journal Of Dairy Science**, Lincoln, v. 74, n. 3, p. 972-979, mar. 1991. American Dairy Science Association. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(91\)78246-5](http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(91)78246-5).
44. PAES, Maria Cristina Dias. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Sete Lagunas: Embrapa, 2006. 6 p.

45. PAZ, H.A.; KONONOFF, P.J.. Lactation responses and amino acid utilization of dairy cows fed low-fat distillers dried grains with solubles with or without rumen-protected lysine supplementation. **Journal Of Dairy Science**, West Point, v. 97, n. 10, p. 6519- 6530, out. 2014. American Dairy Science Association. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8315>.
46. ROBINSON, P.H.; KARGES, K.; GIBSON, M.L.. Nutritional evaluation of four co- product feedstuffs from the motor fuel ethanol distillation industry in the Midwestern USA. **Animal Feed Science And Technology**, [S.L.], v. 146, n. 3-4, p. 345-352, out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.01.004>.
47. ROMAGNOLO, D; POLAN, C; BARBEAU, W. Electrophoretic Analysis of Ruminant Degradability of Corn Proteins. **Journal Of Dairy Science**, Blacksburg, v. 77, n. 4, p. 1093-1099, abr. 1994. American Dairy Science Association. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(94\)77044-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(94)77044-2).
48. ROSSETO, R.E; MADALENA, L.C.S; OLIVEIRA A.F; CHANG, P; PRIMIERI, B.F; FRIGO, E.P; SANTO, R.F. Panorama do Etanol Brasileiro. In: II SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE ENERGIA NA AGRICULTURA, 2., 2017, Cascavel. **Anais [...]** Cascavel: Acta Iguazu, 2017. v. 6, p. 13-22.
49. RUFINO JUNIOR, João. **Utilização de DDG e torta de girassol na alimentação de bovinos e ovinos confinados**. 2017. 65 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agricultura Tropical, Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2017.
50. SANTOS, F.A.P.; SANTOS, J.e.P.; THEURER, C.B.; HUBER, J.T.. Effects of Rumen-Undegradable Protein on Dairy Cow Performance: a 12-year literature review. **Journal of Dairy Science**, Tucson, v. 81, n. 12, p. 3182-3213, dez. 1998. American Dairy Science Association. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(98\)75884-9](http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(98)75884-9).
51. SANTOS, Oslei Aparecido dos. **Bioquímica Brasil**: produção de etanol a partir de milho, conceitos e operação. Produção de Etanol a partir de Milho, conceitos e operação. 2019. Disponível em: <https://bioquimicabrasil.com/2019/07/20/producao-de-etanol-a-partir-de-milho-conceitos-e-operacao/>. Acesso em: 05 jun. 2021.
52. SCHINGOETHE, D.J.; KALSCHEUR, K.F.; HIPPEN, A.R.; GARCIA, A.D.. Invited review: the use of distillers products in dairy cattle diets. **Journal Of Dairy Science**, Brookings, v. 92, n. 12, p. 5802-5813, dez. 2009. American Dairy Science Association. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2549>.
53. SCHINGOETHE, D.J.; CLARK, A.K.; VOELKER, H.H. Wet Corn Distillers Grains in Lactating Dairy Cow Rations. **Journal of Dairy Science**, Brookings, v. 66, n. 2, p. 345- 349, fev. 1983. American Dairy Science Association. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(83\)81795-0](http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(83)81795-0).
54. SCHINGOETHE, D. J.; KALSCHEUR, K. F.; AND GARCIA, A. D. "Distillers Grains for Dairy Cattle" (2006). Extension Extra. Paper 120.
55. SCHWAB, C. G.; BRODERICK, G. A.. A 100-Year Review: protein and amino acid nutrition in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Madison, v. 100, n. 12, p. 10094-10112, dez. 2017. American Dairy Science Association. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-13320>.
56. SPIEHS, M. J.; WHITNEY, M. H.; SHURSON, G. C.. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. **Journal of Animal Science**, Oxford, v. 80, n. 10, p. 2639, 2002. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.2527/2002.80102639x>.

57. SOBRINHO, P. **Processo (simplificado) de produção de ETANOL de MILHO**. Cuiabá: Conab, 2012. Disponível em: <https://silo.tips/download/mato-grosso-processo-simplificado-de-producao-de-etanol-de-milho-destilaria-usin>. Acesso em: 26 nov. 2020.
58. TESTROET, E. D.; LI, G.; CLARK, S.; BEITZ, D. C. Quality of Milk from Lactating Dairy Cattle Fed Dried Distillers Grains with Solubles. **Digital Repository Of Iowa State University**, Ames, v. 14, n. 660, p. 1-3, 1 jan. 2014. Iowa State University. http://dx.doi.org/10.31274/ans_air-180814-1156. Disponível em: https://lib.dr.iastate.edu/ans_air/vol660/iss1/36/. Acesso em: 26 nov. 2020.
59. TESTROET, E. D.; SANKARLAL, V. M.; CLARK, S.; BEITZ, D. C. Lactational Performance of Holstein Dairy Cows Fed Two Levels of Full-fat Corn Dried Distillers Grains with Solubles. **Animal Industry Report**, Ames, v. 662, n. 1, p. 1-5, 1 jan. 2016. Iowa State University. http://dx.doi.org/10.31274/ans_air-180814-1391. Disponível em: <https://lib.dr.iastate.edu/>. Acesso em: 27 nov. 2020.
60. TJARDES, J.; WRIGHT, C. Feeding corn distiller's co-products to beef cattle. **SDSU Extension Extra. Dept. of Animal and Range Sciences**. 2002.
61. VALADARES FILHO, Sebastião de Campos; CHIZZOTTI, Mario Luiz; PAULINO, Pedro Veiga Rodrigues. Exigências nutricionais de bovinos de corte no Brasil: desafios. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 4, n. 56, p. 488-495, ago. 2009.
62. WAHRMUND, J. MATT, He. Dried Distillers Grains and(or) Soybean Hulls to Background Beef Calves Fed Bahiagrass Forage. **Florida Beef Report**, Florida, v. 27, n. 4, p. 97-102, jul. 2011. Disponível em: <https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/AA/00/00/04/51/00001/n-DriedGrains.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2020.
63. WERLE, Caroline Hoscheid. **Utilização de grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) de milho na alimentação de vacas em lactação**. 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondo, 2017.
64. ZANTON, G.I.; HEINRICHS, A.J.; JONES, C.M.. Short communication: effects of level of rumen-degradable protein and corn distillers grains in corn silage-based diets on milk production and ruminal fermentation in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Pensilvânia, v. 96, n. 7, p. 4638-4642, jul. 2013. American Dairy Science Association. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6030>.

SOBRE O ORGANIZADOR

Ernane José Xavier Costa

Ernane José é Doutor em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2000), Mestre em Física pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo (1995) e Bacharel em Física pela Universidade Federal de Viçosa (1992), . Em 2006 Obteve o título de Livre Docencia pela Universidade de São Paulo onde atua como professor coordenando o Laboratório de Física Aplicada e Computacional (LAFAC) na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Tem experiência na área de Bioengenharia e instrumentação eletrônica, com ênfase em Processamento de Sinais Biológicos, atuando principalmente nos seguintes temas: Processamento Digital de Sinais, Redes Neurais Artificiais e Instrumentação Eletrônica aplicada à experimentação e monitoração de sistemas biológicos e ambientais.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7534841168255892>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise de Imagens: 75

Arduino: 126

Aves: 57, 133

B

Bem: 50, 51, 117

Biofertilizante: 19

Biossensores: 37, 39, 46, 48

Bovinos: 165

C

Clorofila: 75, 77

D

Detecção: 37, 48, 49

Dieta Alto Grão: 60

E

Etanol: 168

F

Fibra Efetiva: 60, 73

Fibra em Detergente Neutro: 60, 156

Frenesi Alimentar: 117, 119

M

Milho: 168

P

Pastagens: 15, 34, 75

Pecuária: 126

Piscicultura: 123, 137, 149

R

Rebrota: 19

Ruminação: 60

S

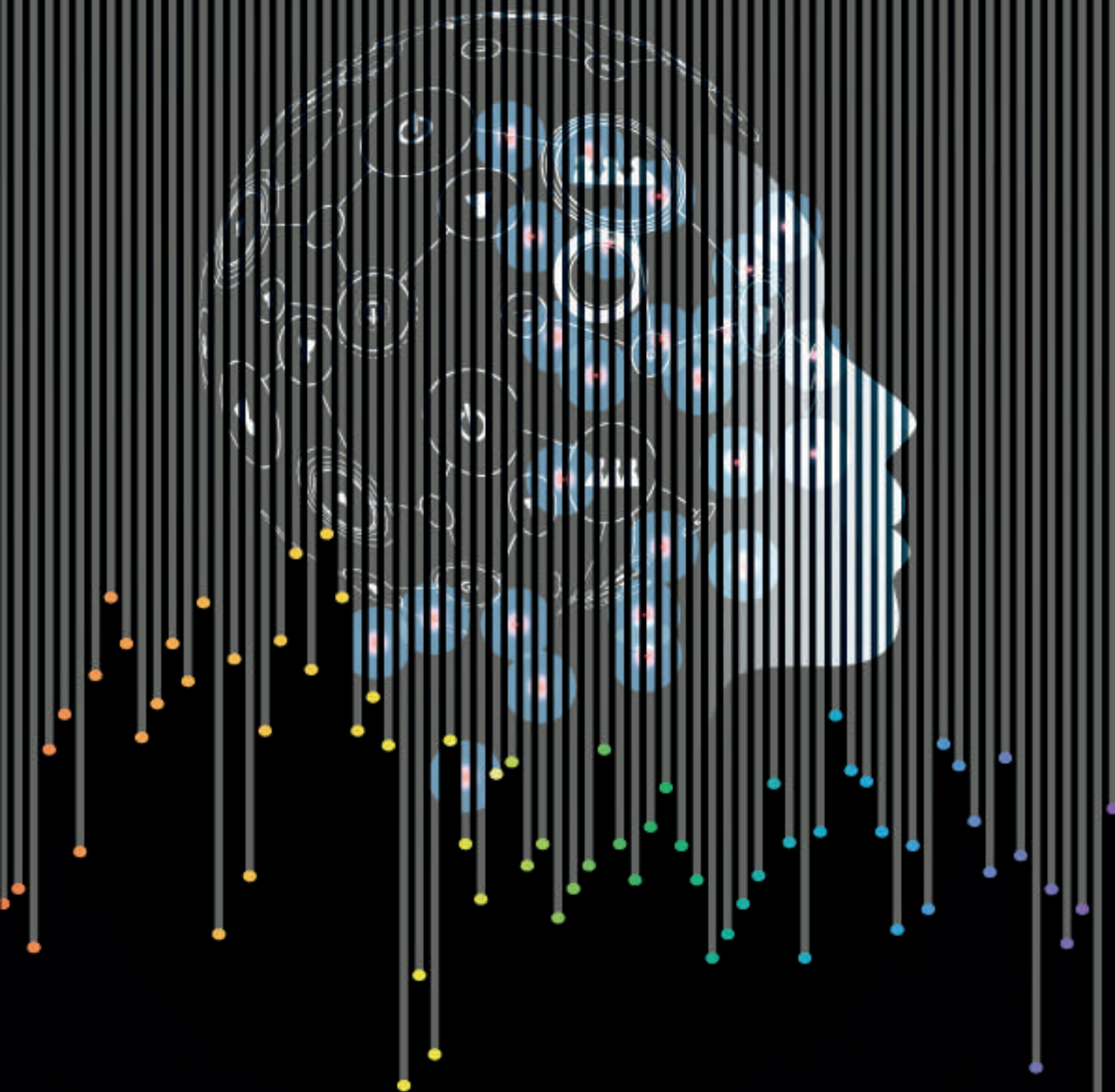
Salmonella: 36, 37, 39, 40, 42, 43, 46, 47, 48, 49

Selenoproteína: 137

Sustentabilidade: 126

Z

Zootecnia de Precisão: 117



www.editoracientifica.org

contato@editoracientifica.org

ISBN 978-655360039-3



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS

ZOOTECNIA

DE PRECISÃO

DESAFIOS E APLICAÇÕES



editora
científica digital